



UNIONE EUROPEA  
Fondo Sociale Europeo  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## **Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR**

Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 Aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020

---

# Soluzione ottimale di un sistema ibrido di accumulo idrico-elettrico

---

*Rapporto Tecnico di Ricerca Industriale D3.4*



<b>Avviso</b>	Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR
<b>Codice progetto</b>	ARS01_01259
<b>Nome del progetto</b>	Community Energy Storage Gestione Aggregata di Sistemi di Accumulo dell'Energia in Power Cloud
<b>Acronimo</b>	ComESto
<b>Documento</b>	D3.4
<b>Tipologia</b>	Rapporto Tecnico
<b>Data di Rilascio</b>	05/11/2021
<b>Obiettivo Realizzativo</b>	OR3
<b>Attività Realizzativa</b>	A3.4
<b>Soggetti Beneficiari Proponenti</b>	UNICAL
<b>Elaborato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)</b>	Patrizia Piro - UNICAL
<b>Verificato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)</b>	Edoardo Gino Macchi - FBK
<b>Approvato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)</b>	Membri del PEB

## INDICE

Executive Summary.....	8
1 Introduzione.....	11
2 Analisi del territorio .....	12
3.1 Scelta del caso studio.....	14
3.1.1 Il sistema acquedottistico in esame .....	16
3.1.2 Stima delle portate reali in ingresso e in uscita dal serbatoio Cozzo Muoio.....	17
3 Definizione dello schema funzionale .....	19
4 Stato dell'arte.....	21
4.1 Soluzioni innovative idrico-elettriche .....	21
4.2 Sistemi idroelettrici .....	23
4.2.1 Mini-idroelettrico .....	23
4.2.2 Mini-idroelettrico all'interno di una rete acquedottistica.....	25
4.2.3 Principali applicazioni dei sistemi idroelettrici a scala urbana e condominiale .....	26
4.2.4 Analisi di mercato dei sistemi pico-idroelettrici .....	29
4.2.5 Analisi si mercato delle turbine per l'installazione a scala urbana.....	35
4.3 Sistemi ibridi.....	43
4.3.1 Net metering.....	44
5 Definizione dell'architettura ottimale di un sistema ibrido di accumulo idrico ed elettrico.....	45
5.1 Sistema di accumulo ibrido idrico-elettrico a livello condominiale .....	45
5.1.1 Definizione del profilo di portata .....	45
5.1.2 Definizione del profilo di generazione.....	47
5.1.3 Definizione del profilo di carico.....	50
5.2 Sistema di accumulo ibrido idrico-elettrico a livello di macro-sistema .....	56
5.2.1 L'impianto fotovoltaico sul serbatoio Cozzo Muoio .....	56
5.2.2 Impianto di sollevamento Cozzo Muoio – Serbatoi Mendicino .....	63
5.2.3 Impianto idroelettrico, Cozzo Muoio – Merone.....	72
5.2.4 Ottimizzazione del macro-sistema .....	73
BIBLIOGRAFIA.....	82

## INDICE FIGURE

Figura 1 Schema esemplificativo dell'attività prevista di progetto (fonte: proposta progettuale - ComESTo).....	8
Figura 2 Complesso delle opere idropotabili regionali della Calabria gestite da Sorical SpA (fonte: So.Ri.Cal) .	13
Figura 3 Rilievo da fonte EarthPro del Serbatoio Cozzo Muoio (Cosenza).....	14
Figura 4 Inquadramento territoriale da fonte google earth del sistema Cozzo Muoio – Serbatoi Pasquali e Cozzo Pirillo.....	15
Figura 5 Inquadramento territoriale da fonte google earth del sistema Cozzo Muoio – Merone.....	16
Figura 6 Schema acquedottistico in esame .....	17
Figura 7 Portate mensili in ingresso nel serbatoio Cozzo Muoio da Abatemarco e Bufalo .....	19
Figura 8 Portate mensili in uscita dal serbatoio Cozzo Muoio verso i serbatoi di Mendicino, Merone e Ospedali .....	19
Figura 9 Confronto tra le portate provenienti al serbatoio Cozzo Muoio da Bufalo e quelle in uscita da Cozzo Muoio verso i serbatoi di Mendicino.....	19
Figura 10 Schema funzionale descrizione delle attività 3.4 .....	20
Figura 11 Schema sistema SPVWPS (Gopal et al.,2013).....	21
Figura 12 Schema impianto SPVWPS con estrazione di acqua dal sottosuolo (Bakelli et al., 2011).....	22
Figura 13 Sistema interno di una turbina per generare energia elettrica (Casini, 2015) .....	26
Figura 14 Sistema interno di una turbina per generare energia elettrica (Casini, 2015).....	26
Figura 15 Installazione di Lucidpipe a Portland (www.nextech) .....	27
Figura 16 Installazione di Lucidpipe a Riverside (California) (www.ijsgce.com) .....	27
Figura 17 Generatore di energia a flusso radiale (Hoffmann et al., 2013).....	28
Figura 18 Impianto idroelettrico domestico (www.ecoticias.com).....	29
Figura 19 Turbina Pelton (www.earthpowernews.com).....	30
Figura 20 Prestazioni in funzione del salto e della portata (www.irem.it).....	30
Figura 21 Abaco produttività (www.irem.it)/.....	30
Figura 22 HI-Power (www.sierrasolarsystems.com) .....	31
Figura 23 Configurazione del sistema (www.sierrasolarsystems.com).....	31
Figura 24 Harris (www.sierrasolarsystems.com).....	32
Figura 25 Water baby (www.rpc.com.au) .....	32
Figura 26 Range di produttività (www.rpc.com.au) .....	33
Figura 27 Dimensioni in pianta (www.rpc.com.au).....	33
Figura 28 Rendimento Harris Pelton (www.absak.com) .....	33
Figura 29 Rendimento Stream Engine (www.absak.com).....	34
Figura 30 Turbina Banki (www.irem.it) .....	35
Figura 31 Curva caratteristiche turbina Banki (www.irem.it) .....	35
Figura 32 Turbina Pelton (www.irem.it).....	36
Figura 33 Curva caratteristiche turbina Pelton (www.irem.it).....	36
Figura 34 Range di applicazione delle turbine O.M.TON (in verde: turbina pelton; in arancio: turbina kaplan; in blu: turbina francis) (www.omton.it) .....	36
Figura 35 Turbina Pelton (www.omton.it) .....	37
Figura 36 Turbina Francis (www.omton.it).....	37
Figura 37 Turbina Kaplan (www.omton.it).....	38
Figura 38 Efficienza Turbine (www.researchgate.net).....	38
Figura 39 Turbina Banki (wikipedia.it).....	39
Figura 40 Turbina Banki prodotta dall'azienda che ne detiene il brevetto (www.ossbergerhydro.com).....	40
Figura 41 Turbina Banki prodotta dall'azienda AC-TEC (www.ac-tec.it).....	40

Figura 42 Rendimento turbina Banki dell'azienda JLA Hydro ( <a href="http://www.jlahydro.be">www.jlahydro.be</a> ) .....	41
Figura 43 Rendimento turbine ALTMAN Power ( <a href="http://altmanpower.com">altmanpower.com</a> ) .....	42
Figura 44 Rendimento turbine GreenBug Energy ( <a href="http://greenbugenergy.com">greenbugenergy.com</a> ).....	42
Figura 45 Sistema ibrido ( <a href="http://cdn.microhydropower.com">cdn.microhydropower.com</a> ).....	44
Figura 46 Profilo tipico di portata per tre differenti centri abitati .....	46
Figura 47 Profilo tipico di portata per il caso studio .....	47
Figura 48 Prestazioni "Water Baby"( <a href="http://www.rpc.com.au">www.rpc.com.au</a> ) .....	47
Figura 49 Profili di generazione per H pari a 15, 20, 25 e 30 m e profilo tipico di portata .....	48
Figura 50 Cumulata giornaliera della potenza generata dal pico-idroelettrico nel caso di scenario 1 per H pari a 15, 20, 25 e 30 m .....	49
Figura 51 Pompa JET, Pompa JETINOX, Pompa JETCO - DAB WATER TECHNOLOGY .....	52
Figura 52 Curve caratteristiche delle Pompe JET, JETINOX, JETCO - DAB WATER TECHNOLOGY .....	52
Figura 53 Scheda tecnica (parte 1) .....	53
Figura 54 Scheda tecnica (parte 2) .....	54
Figura 55 Scheda tecnica (parte 3) .....	54
Figura 56 Scheda tecnica JET 300 .....	55
Figura 57 Profilo di carico della pompa nelle 24 ore .....	56
Figura 58 Copertura piana per l'installazione dell'impianto fotovoltaico .....	57
Figura 59 Radiazione globale giornaliera sul piano inclinato ( $W/m^2$ ) per il mese di Gennaio .....	58
Figura 60 Radiazione globale giornaliera sul piano inclinato ( $W/m^2$ ) per il mese di Agosto.....	58
Figura 61 Radiazione globale mensile media sul piano inclinato ( $W/m^2$ ) per i mesi da Gennaio a Giugno.....	59
Figura 62 Radiazione globale mensile media sul piano inclinato ( $W/m^2$ ) per i mesi da Luglio a Dicembre.....	60
Figura 63 Radiazione solare globale mensile media sul piano inclinato ( $W/m^2$ ) .....	60
Figura 64 Impianto fotovoltaico sul serbatoio cozzo Muoio .....	61
Figura 65 Potenza dell'impianto fotovoltaico sul serbatoio cozzo Muoio per il mese di gennaio.....	62
Figura 66 Potenza dell'impianto fotovoltaico sul serbatoio cozzo Muoio per il mese di agosto .....	62
Figura 67 Produzione mensile di elettricità dell'impianto fotovoltaico (kWh/mese) .....	63
Figura 68 Curva caratteristica per $Q=144 m^3/h$ ( <a href="http://www.rovatti.it">www.rovatti.it</a> ).....	64
Figura 69 Curva caratteristica per $Q=180 m^3/h$ ( <a href="http://www.rovatti.it">www.rovatti.it</a> ).....	65
Figura 70 Curva caratteristica per $Q=216 m^3/h$ ( <a href="http://www.rovatti.it">www.rovatti.it</a> ).....	66
Figura 71 Curva caratteristica per $Q=252 m^3/h$ ( <a href="http://www.rovatti.it">www.rovatti.it</a> ).....	67
Figura 72 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Gennaio .....	68
Figura 73 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Febbraio .....	68
Figura 74 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Marzo .....	68
Figura 75 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Aprile .....	69
Figura 76 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Maggio.....	69
Figura 77 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Giugno .....	69
Figura 78 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Luglio .....	70
Figura 79 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Agosto .....	70
Figura 80 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Settembre.....	70
Figura 81 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Ottobre .....	71
Figura 82 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Novembre.....	71
Figura 83 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Dicembre .....	71
Figura 84 Consumo mensile totale delle pompe.....	72
Figura 85 Produzione mensile totale – Turbina Banki JLA29 (kWh/mese).....	73
Figura 86 Produzione impianto fotovoltaico – periodo temporale in cui si ha la media della distribuzione .....	73
Figura 87 Consumo della pompa – periodo temporale in cui si ha la media della distribuzione.....	74

Figura 88 Produzione impianto idroelettrico – periodo temporale in cui si ha la media della distribuzione.....	74
Figura 89 La produzione da fotovoltaico e idroelettrico e il consumo delle pompe (40l/s,50l/s,60l/s,70l/s) in (kW) - 1 Gennaio .....	75
Figura 90 La produzione da fotovoltaico e idroelettrico e il consumo delle pompe (40l/s,50l/s,60l/s,70l/s) in (kW) - 1 Agosto.....	76
Figura 91 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico e consumo totale mensile delle pompe (40l/s,50l/s,60l/s,70l/s) – (kWh/mese).....	77
Figura 92 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (40l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid – (kWh/mese).....	78
Figura 93 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (50l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid (kWh/mese).....	78
Figura 94 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (60l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid (kWh/mese).....	78
Figura 95 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (60l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid (kWh/mese).....	79
Figura 96 Consumo della pompa (per le pompe 40 l/s, 50 l/s, 60 l/s e 70 l/s) e uso della Grid/Batteria (kW) ..	79
Figura 97 Consumo mensile totale della pompa dalla Grid/batteria .....	80
Figura 98 Produzione mensile extra del Sistema che può essere ceduta alla Grid (kW) .....	80

## INDICE TABELLE

Tabella 1 Portate mensili erogate dal serbatoio Cozzo Muoio al serbatoio Merone (fonte SoRiCaI).....	18
Tabella 2 Portate mensili erogate dal serbatoio Cozzo Muoio ai serbatoi Cozzo Pirillo e Pasquali (Mendicino) (fonte So.Ri.CaL) .....	18
Tabella 3 Deficit energetica per le regioni italiane (www.terna.it).....	24
Tabella 4 Casi studio turbina Banki azienda AC-TEC (www.ac-tec.it).....	41
Tabella 5 Pattern orari di letteratura .....	46
Tabella 6 Potenza generata dal pico-idroelettrico nello SCENARIO 2 considerando un carico pari a 30 m .....	50
Tabella 7 Potenza generata dal pico-idroelettrico nello SCENARIO 2 considerando un carico pari a 40 m .....	50

## EXECUTIVE SUMMARY

Obiettivo dell'attività è stato quello di individuare l'architettura ottimale di un sistema ibrido di accumulo elettrico-idrico che ottimizzi l'uso delle FER quale sistema di alimentazione per gli impianti di sollevamento a servizio del sistema di adduzione e distribuzione dell'acqua potabile.

A tal fine si è reso necessario, dunque, analizzare i metodi per sfruttare i sistemi di accumulo idrico esistenti per il servizio idropotabile, in aggiunta a quelli eventualmente disponibili presso i singoli utenti o gruppi di essi per realizzare un sistema di produzione e accumulo di energia distribuito di comunità. Il sistema da analizzare prevede, quindi, il coinvolgimento del cittadino nella gestione ottimale del sistema ("New Deal") come soggetto appartenente ad una aggregazione.

A partire da tali considerazioni, è stata, dunque, valutata l'ipotesi di implementazione di storage dell'energia prodotta da impianti a fonti rinnovabili localizzati su serbatoi idropotabili o in prossimità degli stessi. Al fine di poter considerare la possibilità di produzione da idroelettrico, si, è, inoltre, analizzata l'opportunità di sfruttare il salto potenziale esistente tra lo storage idrico principale e un serbatoio idrico secondario di dimensioni inferiori oltre che, la possibilità, a scala urbana di utilizzare il surplus di carico in corrispondenza degli impianti autoclave degli edifici al fine di generare, attraverso la produzione idroelettrica dalle reti di distribuzione, aliquote non trascurabili di energia eventualmente immagazzinata in piccoli storage energetici condominiali.

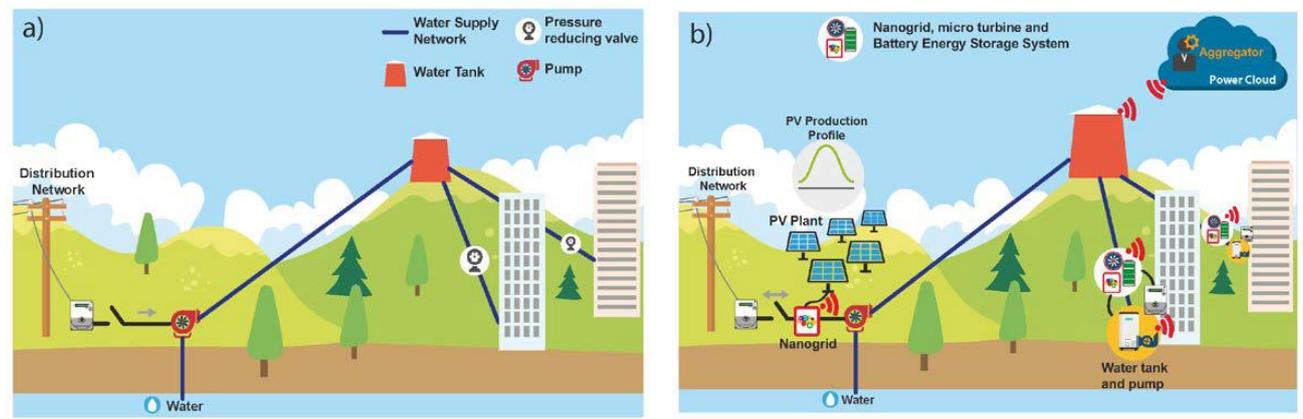


Figura 1 Schema esemplificativo dell'attività prevista di progetto (fonte: proposta progettuale - ComESto)

Definite le caratteristiche del sistema, per come previste in progetto, è stata, dunque, condotta una ricerca di possibili casi studio, presenti sul territorio calabrese, rispondenti alle esigenze richieste dal sistema per contribuire, sulla base dei dati esistenti, alla successiva definizione dell'architettura ottimale di un sistema ibrido di accumulo idrico ed elettrico.

Dall'analisi, è stato rilevato che le condizioni orografiche del territorio calabrese, fanno sì che dal serbatoio di testata fino all'utenze ci siano elevati carichi piezometrici nelle condotte di adduzione rendendo così valutabile l'ipotesi del mini-idroelettrico.

Sulla base di tali considerazioni, il sito ritenuto potenzialmente rispondente alle esigenze di progetto è stato

individuato nel Serbatoio Cozzo Muoio (39° 17' 36" N - 16° 14' 22" E), che presenta una elevata capacità, è alimentato a gravità da due acquedotti (Abatemarco e Bufalo) e costituisce la primaria riserva idrica della città Cosenza. Il sito in questione, presenta, inoltre, tutte le condizioni necessarie all'implementazione dell'impianto a FER; nonché possibilità di approvvigionamento idrico, attraverso l'ipotesi di implementazione dell'impianto di sollevamento alimentato a FER, dal serbatoio Cozzo Muoio ai Serbatoi Pasquali e Cozzo Pirillo. Il serbatoio Cozzo Muoio rappresenterebbe, dunque, nello schema progettuale iniziale, la risorsa idrica prelevata dall'impianto di sollevamento.

Scelto il caso studio, si è passati alla definizione dello schema funzionale preliminare di un sistema ibrido di accumulo elettrico-idrico. In particolare, in aggiunta alle considerazioni precedenti, in cui sulla base del caso studio considerato, il serbatoio Cozzo Muoio rifornirebbe, attraverso l'impianto di sollevamento alimentato a FER, il Serbatoio Pasquali e Cozzo Pirillo, è stata, valutata la possibilità di inserire un impianto idroelettrico che possa sfruttare il salto potenziale esistente tra lo storage idrico principale e un serbatoio idrico secondario di dimensioni inferiori, individuato nel Serbatoio Merone. Successivamente, a partire dal Serbatoio Merone, mediante un funzionamento a gravità si è analizzata la possibilità di sfruttare il surplus di carico potenziale alla base degli edifici per la produzione di aliquote di energia elettrica eventualmente immagazzinata in piccoli storage energetici condominiali.

Ai fini dell'ottimizzazione del sistema dal punto di vista energetico, è emersa la necessità di definire le portate circolanti nel sistema acquedottistico nei diversi mesi dell'anno. Si è, pertanto, proceduti, facendo riferimento ai dati reali forniti da SoRiCal, con l'analisi delle portate medie mensili erogate dal serbatoio Cozzo Muoio al Serbatoio Merone e ai Serbatoi Cozzo Pirillo e Pasquali.

A partire dallo schema funzionale preliminare del sistema ibrido di accumulo elettrico-idrico, che racchiude la presenza di diverse tecnologie (impianto di sollevamento alimentato a FER, impianto idroelettrico tra storage idrico principale e serbatoio idrico secondario, pico-idroelettrico a livello condominiale), è stata effettuata un'analisi dello stato dell'arte delle soluzioni coinvolte nel sistema. Data l'innovazione del sistema proposto, l'attività di ricerca scientifica, si è, inoltre, focalizzata anche sull'analisi specifica di casi studio che considerano soluzioni innovative idrico-elettriche, come ad esempio i "Solar photovoltaic water pumping system (SPVWPS)". In tale fase è stata, inoltre, effettuata l'analisi delle caratteristiche principale degli impianti idroelettrici, con particolare attenzione all'applicazione di tali sistemi nelle reti acquedottistiche in ambito urbano e condominiale. In tale contesto, si è, pertanto, focalizzata l'attenzione su sistemi pico-idroelettrici installati a livello condominiale, che, se applicati in strutture con elevato numero di utenza, rappresentano una potenziale fonte di energia. A partire dallo studio delle caratteristiche di tali sistemi e dei principali ambiti di applicazione, in coerenza con l'obiettivo finale dell'attività di ricerca, è stata, inoltre, avviata l'analisi delle turbine presenti sul mercato con particolare riferimento a quelle utilizzate in ambito urbano. La conoscenza del mercato è, infatti, fondamentale per approcciarsi correttamente alla definizione del sistema ibrido oggetto di ricerca. Per ogni

tipologia analizzata si è focalizzata l'attenzione sulle caratteristiche tecniche in termini di carico, portata, potenza massima, costo e rendimento.

Sulla base dello schema funzionale si è inizialmente focalizzata l'attenzione sull'analisi del sistema a livello condominiale, considerando l'ipotetica installazione di un sistema pico-idroelettrico su un condominio di 6 piani costituito da 30 appartamenti. Nello specifico sono stati considerati due scenari: produzione di energia da pico-idroelettrico durante l'arco della giornata in funzione del prelievo di acqua dalla rete pubblica; e, nell'ottica di un distacco dalla rete e di valutare la possibilità di un sistema che possa lavorare il più possibile in autonomia, è stato ipotizzato che il condominio sia servito durante la giornata dalla riserva d'acqua stoccata in un serbatoio di accumulo e mandata in circolo mediante un impianto di pressurizzazione. In tal caso, il pico-idroelettrico si azionerà durante le fasi di riempimento del serbatoio, che dovranno avvenire possibilmente durante la notte quando le pressioni nella rete acquedottistica risultano maggiori. Al fine di definire il profilo di portata è stata inizialmente condotta una ricerca bibliografica e, sulla base di tale analisi, è stato definito il profilo di portata tipico per il condominio considerato. Per la definizione del profilo tipico di generazione, è stato inizialmente scelto il sistema pico-idroelettrico, a partire da quelli rilevati dall'analisi mercato precedentemente svolta e, in funzione delle caratteristiche di tale sistema, sono stati calcolati i profili di generazione da pico-idroelettrico per entrambi gli scenari. Al fine di ultimare l'ottimizzazione del sistema a livello condominiale, nel prosieguo delle attività, nel caso del secondo scenario, è stata necessaria la definizione di massima dell'impianto di pressurizzazione, utile alla scelta del sistema di pompaggio e, dunque, al calcolo del relativo profilo di carico.

Ultimata l'analisi del sistema di accumulo ibrido idrico-elettrico a livello condominiale, si è focalizzata l'attenzione sull'analisi e l'ottimizzazione del macro sistema che vede il coinvolgimento dell'impianto fotovoltaico sul serbatoio Cozzo Muoio, dell'ipotetico impianto di sollevamento per consentire l'erogazione dal serbatoio Cozzo Muoio ai serbatoi Pasquali e Cozzo Pirillo e dell'ipotetico impianto idroelettrico per sfruttare il salto potenziale esistente tra il serbatoio Cozzo Muoio e il serbatoio Merone. Nello specifico, si è proceduto inizialmente con la determinazione della produzione dell'impianto fotovoltaico, ipotizzato installato sulla riserva idrica, localizzata a Cozzo Muoio. Successivamente, a partire dalle precedenti ricerche effettuate sui sistemi idroelettrici presenti sul mercato è stata scelta una determinata turbina ed è stata valutata la produzione della turbina idroelettrica, ipotizzata tra i serbatoi Cozzo-Muoio e Merone.

Infine, sulla base delle caratteristiche del sistema tra il serbatoio Cozzo Muoio e i serbatoi di Mendicino, sono state scelte quattro differenti pompe per le quali si è proceduto con la determinazione del profilo di consumo, che correlato alle altre variabili considerate (produzione da fotovoltaico e idroelettrico) ha consentito l'ottimizzazione del macro-sistema e la a definizione l'architettura finale del sistema limitando il più possibile il prelievo dalla rete.

## 1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si sta assistendo a una transizione verso un sistema energetico a “emissioni zero”, favorendo lo sviluppo e la diffusione di fonti energetiche “green”. Una delle priorità della Commissione Europea, infatti, è la promozione del “Green Deal europeo”, una strategia che promuove una serie di misure per rendere la produzione di energia più sostenibile e meno dannosa per l’ambiente. Si è proiettati, dunque, verso la costruzione di sistemi energetici interconnessi per sostenere le fonti energetiche rinnovabili.

In tale scenario, particolare attenzione va riservata a tutti quei settori che presentano un elevato consumo di energia, come ad esempio il servizio idrico, i cui costi energetici, legati all’approvvigionamento, al trasporto e all’utilizzo della risorsa, costituiscono una voce significativa dei complessivi costi di gestione della rete. Si rafforza, dunque, ulteriormente il concetto di interconnessione tra acqua ed energia e, nell’ottica di uno sviluppo sostenibile, la gestione di tali risorse non può prescindere dal considerare tale nesso a differenti scale spazio-temporali e fra i vari settori che usufruiscono di tali risorse.

Partendo da tali considerazioni, al fine di limitare l’utilizzo di energia elettrica proveniente da fonti convenzionali per il servizio idrico, nel progetto ComESTo, l’attività A.R. 3.4 ha focalizzato la propria ricerca sull’analisi dell’architettura ottimale di un sistema ibrido di accumulo idrico ed elettrico per ottimizzare l’uso di energia da fonti rinnovabili all’interno del sistema di adduzione e distribuzione dell’acqua potabile. Concordemente, infatti, a quanto riportato nella proposta progettuale si è fatto riferimento a tecnologie che provvedono ad accumulare l’energia prodotta da impianti a fonte rinnovabile (come quelli fotovoltaici), localizzati nei pressi della riserva idrica, con la finalità di utilizzare tale energia a servizio degli impianti di sollevamento che alimentano i serbatoi destinati al servizio idropotabile. In tale contesto, pertanto, si è posta particolare attenzione alla possibilità di utilizzo di sistemi di accumulo dell’energia, che consentono di armonizzare la generazione da fonti rinnovabili con l’irregolarità dei consumi.

Nell’ottica di voler favorire la produzione di energia “green”, la ricerca in oggetto ha, inoltre, analizzato i benefici prodotti dall’implementazione di sistemi idroelettrici, che possono contribuire alla produzione di energia elettrica a servizio della community energetica.

Nell’attività di ricerca si è, pertanto, focalizzata l’attenzione anche sulla possibilità di produrre energia mediante l’implementazione di sistemi pico-idroelettrici localizzati alla base degli edifici, che, se applicati in strutture condominiali a elevato numero di utenza, rappresentano una potenziale fonte di energia. Tale energia, anch’essa immagazzinata in piccoli storage energetici condominiali, in aggiunta a quella prodotta da eventuali impianti fotovoltaici, potrebbe alimentare gli impianti comuni dell’agglomerato urbano nonché gli stessi impianti autoclave degli edifici.

In linea generale, le riserve idriche ed elettriche sono state ipotizzate con la finalità di rendere quanto più autonomo possibile il funzionamento del sistema.

## 2 ANALISI DEL TERRITORIO

Alla luce dell'obiettivo dell'attività è stata valutata l'ipotesi di implementazione di storage dell'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici localizzati su serbatoi idropotabili o in prossimità degli stessi.

Dal punto di vista energetico, infatti, l'energy storage è considerata una delle tecnologie più promettenti per armonizzare la crescente generazione da rinnovabili sul territorio con l'irregolarità dei consumi e lo sviluppo delle reti energetiche. Lo storage energetico in esame consentirebbe di beneficiare, in un sito con impianto di sollevamento, di uno sfasamento temporale fra la produzione dell'energia e l'effettiva disponibilità idrica.

Il sistema definito durante tale fase, in linea generale, dovrà essere, pertanto, costituito da un serbatoio alimentato da impianto di sollevamento a FER e, da quest'ultimo, è stata valutata la possibilità di inserire un impianto idroelettrico che possa sfruttare il salto potenziale esistente tra lo storage idrico principale e un serbatoio idrico secondario di dimensioni inferiori. Inoltre, a partire dal serbatoio di dimensioni inferiori si potrebbe sfruttare, mediante un funzionamento a gravità con carichi piezometrici, superiori per normativa a quelli degli ultimi piani dei fabbricati, il surplus di carico potenziale alla base degli edifici per la produzione di aliquote non trascurabili di energia elettrica, eventualmente immagazzinata in piccoli storage energetici condominiali. Infine, le dovute riserve idriche ed elettriche dovranno rendere quanto più autonomo il funzionamento dei sistemi.

Definite in linee generali le caratteristiche del sistema, per procedere con l'individuazione dell'architettura ottimale, è stata condotta, una ricerca dei possibili casi studio reali presenti sul territorio calabrese che potessero rispondere alle esigenze richieste dal sistema precedentemente descritto.

In tale direzione, si è fatto riferimento alla Società Risorse Idriche Calabresi s.p.a. - So.Ri.Cal., che detiene la gestione, il completamento, l'ammodernamento e l'ampliamento degli schemi idrici di grande adduzione, accumulo e potabilizzazione nonché lo svolgimento del servizio idropotabile all'ingrosso in favore di tutti gli Utenti/Comuni calabresi, e, pertanto, dispone di numerose realtà su cui poter implementare il sistema oggetto di tale attività progettuale. Sorical gestisce un complesso di opere comprendente 1046 serbatoi, alimentati, per tramite di 4500 km di condotte, da 468 sorgenti, 11 derivazioni da corsi d'acqua, 300 pozzi e 2 dighe. Circa metà della portata immessa nelle reti di adduzione è pompata da pozzi. I restanti volumi sono disponibili a gravità o soggetti a rilancio mediante 134 impianti di sollevamento. Sono, inoltre, in esercizio 16 impianti di potabilizzazione. Sono poi in esercizio 16 impianti di potabilizzazione.

Dall'analisi effettuata è emerso che, in Calabria, i costi energetici della sola rete di adduzione regionale superano il 30% del fatturato complessivo della società di gestione (fonte So.Ri.Cal. S.p.A. [www.soricalspa.it](http://www.soricalspa.it)). Inoltre, è stato rilevato che le condizioni orografiche del territorio calabrese, fanno sì che dal serbatoio di testata fino all'utenze ci siano elevati carichi piezometrici nelle condotte di adduzione rendendo così valutabile l'ipotesi del mini-idroelettrico.

Nello specifico, la scelta del caso studio è stata rivolta a sistemi che soddisfano le seguenti condizioni:

- La produzione della fonte di approvvigionamento deve essere in eccesso rispetto alla portata media necessaria per l'uso idropotabile, in modo da poter concentrare il sollevamento in un intervallo di tempo < 24 ore;

- La fonte di approvvigionamento deve essere disponibile presso un serbatoio con volume in eccesso rispetto a quello strettamente necessario per assolvere alle ordinarie funzioni di compenso e di riserva.

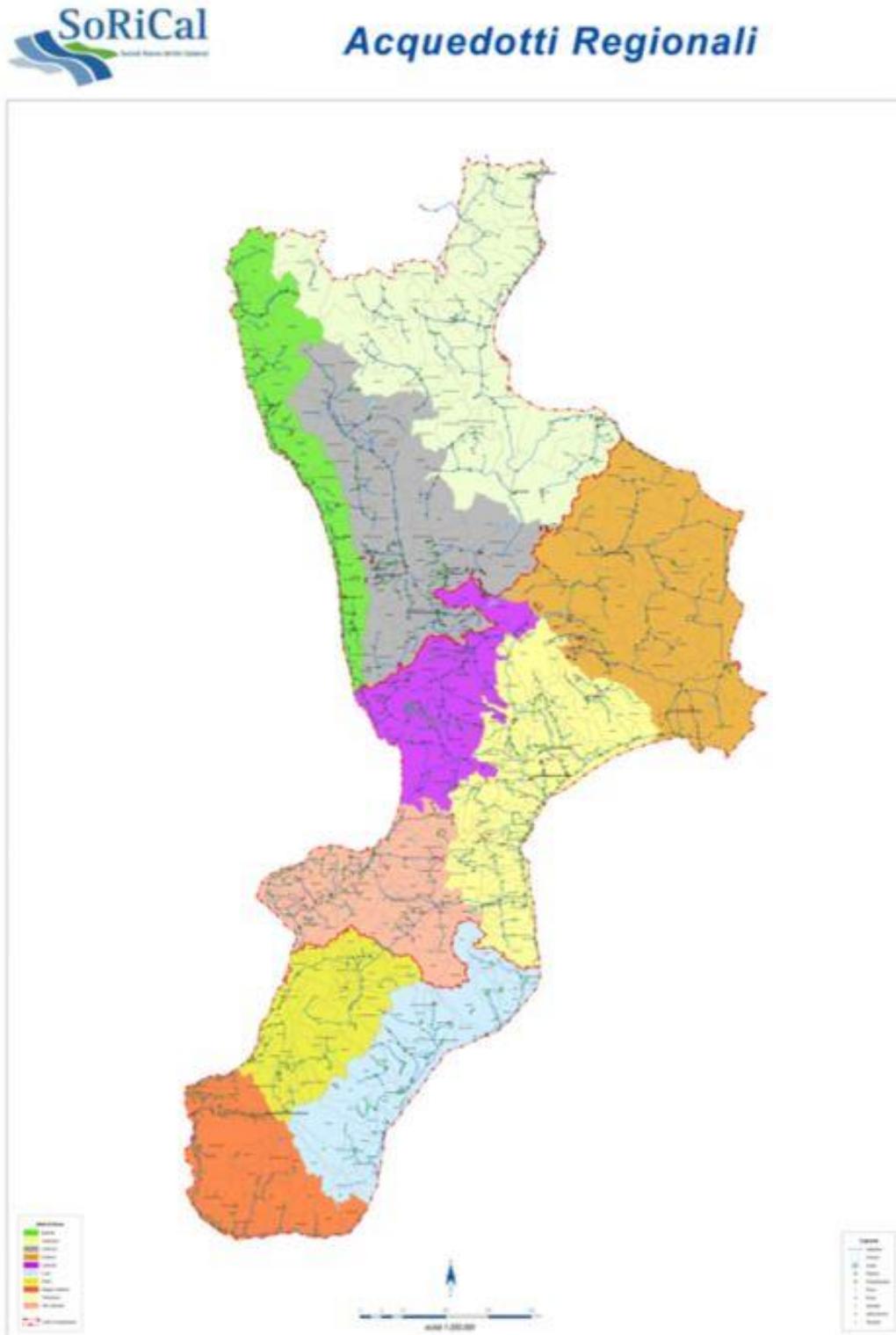


Figura 2 Complesso delle opere idropotabili regionali della Calabria gestite da Sorical SpA (fonte: So.Ri.Cal)

### 3.1 Scelta del caso studio

Sulla base di tali considerazioni, a seguito di un'approfondita analisi, effettuata su numerose configurazioni dei sistemi acquedottistici calabresi, il sito ritenuto potenzialmente rispondente alle esigenze di progetto è stato individuato nel Serbatoio Cozzo Muoio (39° 17' 36" N - 16° 14' 22" E), a servizio della città di Cosenza.

Il serbatoio in oggetto ha una elevata capacità (12000 m<sup>3</sup>), è alimentato a gravità da due acquedotti (Abatemarco e Bufalo) e costituisce la primaria riserva idrica della città Cosenza. Tale accumulo idrico rappresenta, dunque, nello schema progettuale iniziale, precedentemente riportato, la risorsa idrica prelevata dall'impianto di sollevamento.



*Figura 3 Rilievo da fonte EarthPro del Serbatoio Cozzo Muoio (Cosenza)*

La portata sollevata, inoltre, deve avere recapito in un serbatoio di capacità tale da consentire lo sfasamento temporale in questione senza che si abbiano implicazioni sull'alimentazione della rete di distribuzione a valle.

Il sito preso in considerazione presenta, inoltre, un'ampia area di circa 3000 m<sup>2</sup> disponibili all'alloggiamento dell'impianto fotovoltaico. In particolare, il tetto del serbatoio stesso presenta caratteristiche ottimali per l'ipotesi di installazione dell'impianto fotovoltaico in quanto si tratta di una superficie piana e priva di zone ombreggiate che ben si presta allo scopo. Il sito in questione, presenta, dunque, tutte le condizioni necessarie all'implementazione dell'impianto a FER, nello specifico:

- ampia disponibilità di superfici per l'installazione dei pannelli fotovoltaici, sia sulla copertura del serbatoio, sia su suoli pianeggiati adiacenti;
- elevato volume invasato, tale da consentire un sollevamento con portata variabile o discontinuo;

- bassa vulnerabilità del sito, di norma presidiato o comunque videosorvegliato.

In tale fase, è, inoltre stato previsto che il serbatoio Cozzo Muoio, rifornisca, attraverso l'impianto di sollevamento alimentato a FER:

- il Serbatoio Pasquali con capacità di 450 m<sup>3</sup>, per contrada Pasquali di Mendicino (4000 abitanti);
- il Serbatoio Cozzo Pirillo con capacità di 150 m<sup>3</sup>, per contrada Rosario di Mendicino (1000 abitanti).

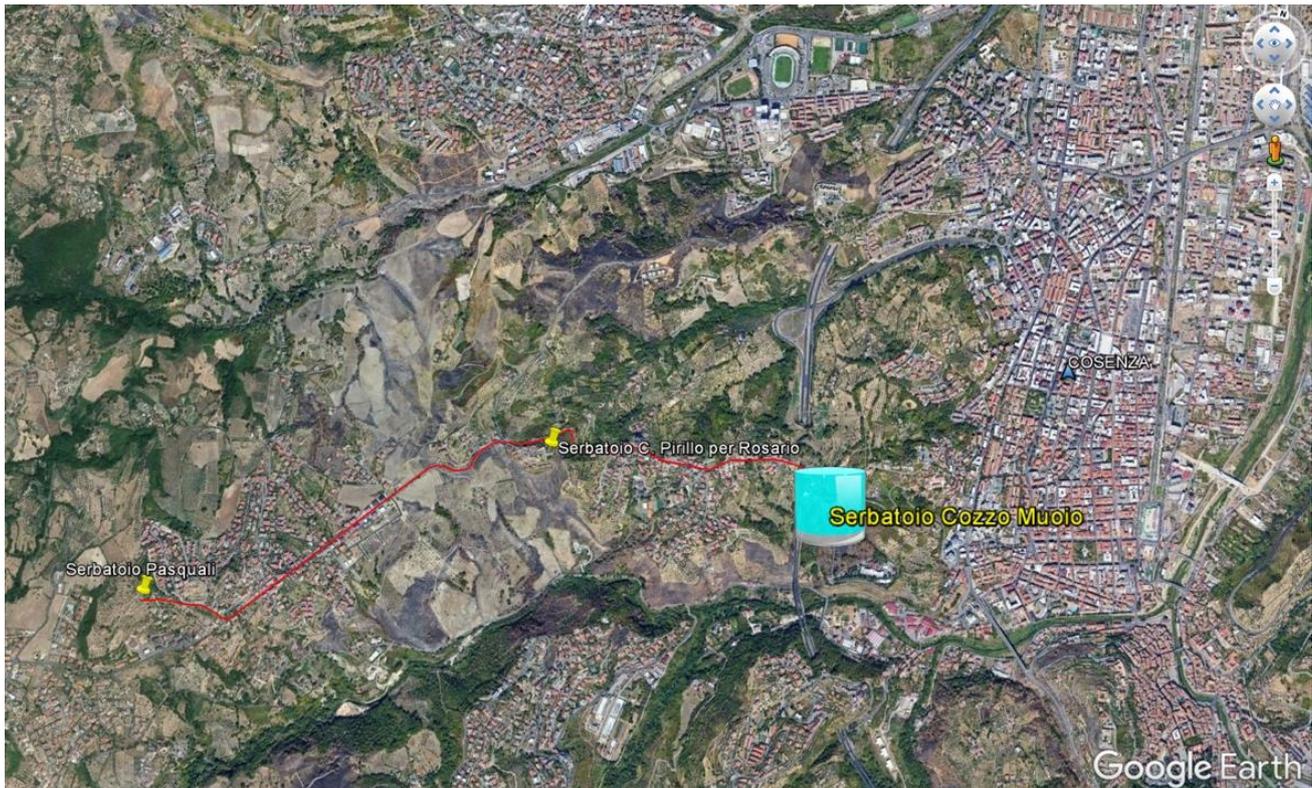


Figura 4 Inquadramento territoriale da fonte google earth del sistema Cozzo Muoio – Serbatoi Pasquali e Cozzo Pirillo

Dall'analisi effettuata sul sistema in oggetto, è emersa, dunque, la necessità di ipotizzare un impianto di sollevamento con una nuova condotta di mandata dal serbatoio C. Muoio al serbatoio Pasquali con portata min-max 30,6 - 37,4 l/s (attualmente fornita dall'Ente gestore attraverso l'utilizzo di altri sistemi, quali impianti di sollevamento da pozzi) variabile nel corso dell'anno.

Si precisa che l'impianto di sollevamento oggetto di studio, per i mesi di febbraio, marzo e aprile non sarà (mediamente) utilizzato perché la diramazione può essere alimentata a gravità dall'acquedotto Bufalo, che in quei mesi ha una portata sufficiente ma, al fine di rendere scalabile il sistema globale, non verrà considerata tale particolare condizione e, dunque, si ipotizzerà che l'impianto di sollevamento sia necessario all'adduzione idrica per tutti i mesi dell'anno.

Inoltre, date le caratteristiche del sistema acquedottistico in esame è possibile considerare la possibilità di sfruttare il salto potenziale, che si ha tra i serbatoi Cozzo Muoio e Merone, inserendo una turbina idroelettrica all'arrivo del serbatoio Merone che riceve la risorsa idrica dal serbatoio Cozzo Muoio, per la produzione di energia elettrica, è una scelta proficua e facilmente attuabile in diversi territori calabresi.

Una buona oppure scarsa scalabilità di questo sistema è dipendente, ovviamente, dalle caratteristiche orografiche delle diverse regioni italiane.

In particolare, i dati relativi al sistema dei due serbatoi in oggetto sono:

- Salto utile lordo medio: 34 m
- Condotta acciaio DN400, L = 520 m
- Portata media: 100 l/s per 12-16 ore al giorno dipendente dal mese considerato.

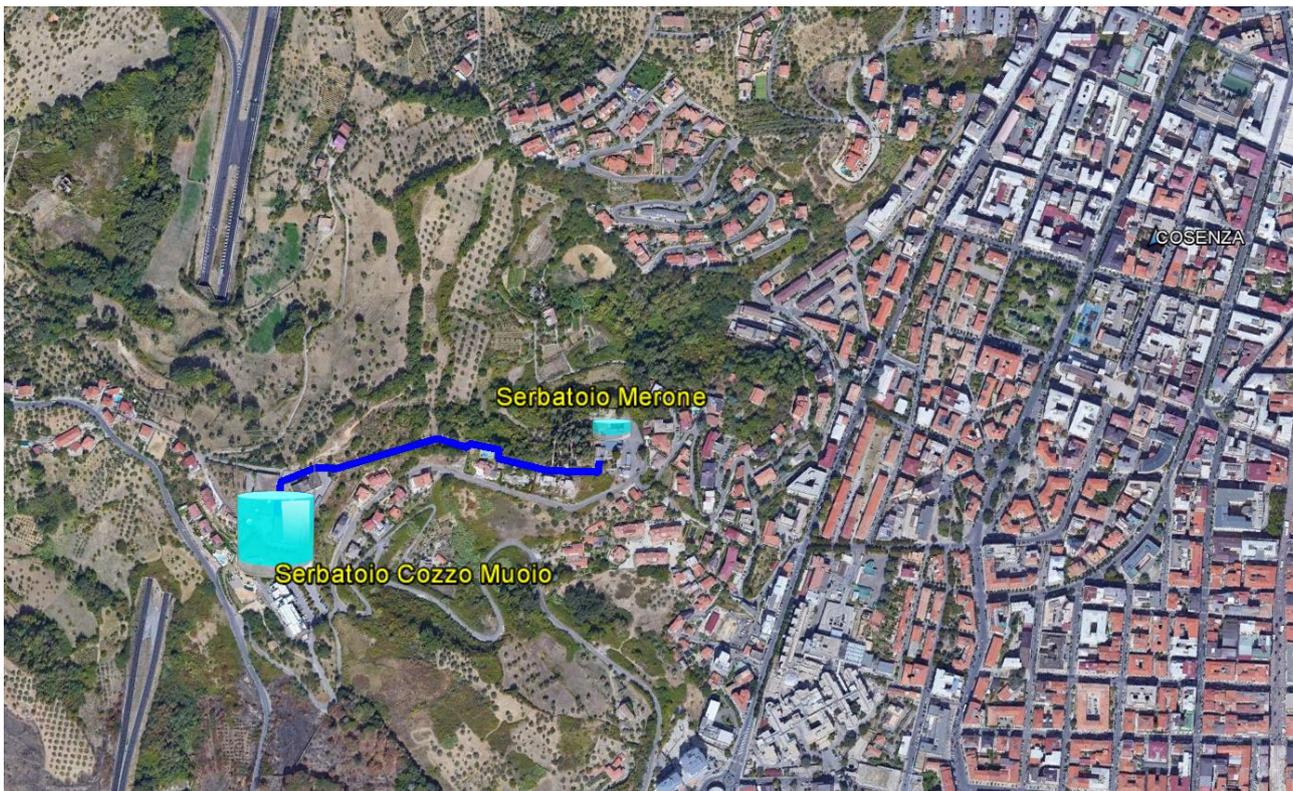


Figura 5 Inquadramento territoriale da fonte google earth del sistema Cozzo Muoio – Merone

### 3.1.1 Il sistema acquedottistico in esame

Alla luce delle considerazioni effettuate in precedenza e in riferimento all'obiettivo del progetto, complessivamente il sistema acquedottistico oggetto di ottimizzazione idrico-elettrica sarà costituito come nello schema riportato in figura 6.

Nello specifico, il serbatoio Cozzo Muoio (12000 m<sup>3</sup>), alimentato a gravità da due acquedotti (Abatemarco e Bufalo), rappresenta la risorsa idrica principale. Lo stesso serbatoio rifornirebbe, attraverso l'impianto di sollevamento alimentato a FER, il Serbatoio Pasquali e il Serbatoio Cozzo Pirillo.

Inoltre, per il caso in esame si ipotizza la possibilità di inserire un impianto idroelettrico che possa sfruttare il salto potenziale esistente tra lo storage idrico principale e un serbatoio idrico secondario di dimensioni inferiori, il Serbatoio Merone.

A partire dal Serbatoio Merone, mediante un funzionamento a gravità si potrebbe, inoltre, sfruttare il surplus di carico potenziale alla base degli edifici per la produzione di aliquote di energia elettrica eventualmente immagazzinata in piccoli storage energetici condominiali.

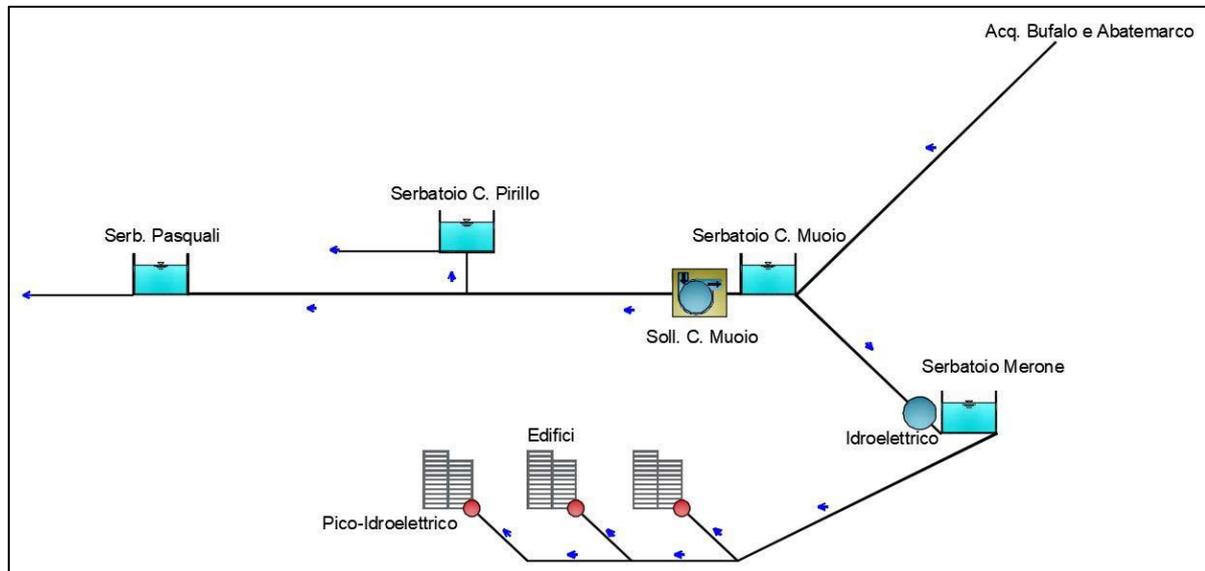


Figura 6 Schema acquedottistico in esame

Definito il sistema, ai fini dell'ottimizzazione del sistema dal punto di vista energetico, è stato necessario definire, nelle fasi successive:

- le portate in ingresso e in uscita dal serbatoio Cozzo Muoio nei diversi mesi dell'anno);
- la producibilità dell'impianto fotovoltaico nei diversi mesi dell'anno;
- la producibilità dell'impianto idroelettrico nei diversi mesi dell'anno;
- il consumo dell'impianto di sollevamento.

### 3.1.2 Stima delle portate reali in ingresso e in uscita dal serbatoio Cozzo Muoio

Per procedere con la definizione del sistema è indispensabile conoscere la quantità d'acqua, ossia la portata che è prelevata dalla fonte. Si precisa che si parla di portata media perché nel corso della giornata e al variare dei mesi, si ha un utilizzo diverso della risorsa idrica.

Si è, pertanto, proceduti con l'analisi delle portate medie mensili dei sistemi acquedottistici:

- Cozzo Muoio-Merone
- C.Muoio ai Serbatoi Cozzo Pirillo e Pasquali, siti nel Comune di Mendicino, che saranno considerate per la definizione dell'impianto di sollevamento.

Nello specifico, per quanto concerne il sistema acquedottistico Cozzo Muoio-Merone, sulla base dei dati forniti dalla SoRiCal, le portate mensili erogate dal serbatoio di Cozzo Muoio al Serbatoio Merone sono quelle riportate in tabella 1; dove: N, variabile per ogni mese, rappresenta le ore di erogazione (a partire dalle ore 6:00) della risorsa idrica dal serbatoio Cozzo Muoio al serbatoio Merone.

Mese	Q (l/s)	N
Gen	103.0	16
Feb	91.0	16
Mar	80.0	16
Apr	75.0	16
Mag	75.0	16
Giu	85.0	16
Lug	103.0	15
Ago	115.0	14
Set	120.0	13
Ott	120.0	12
Nov	118.0	12
Dic	113.0	14

Tabella 1 Portate mensili erogate dal serbatoio Cozzo Muoio al serbatoio Merone (fonte SoRiCaL)

Le portate uscenti mensili (fonte Sorical) erogate dal serbatoio C.Muoio ai Serbatoi Cozzo Pirillo e Pasquali, siti nel Comune di Mendicino, che saranno considerate nelle fasi successive per la definizione dell'impianto di sollevamento, alimentato a FER, sono quelli riportate in tabella 2. La portata media annuale erogata dal serbatoio di Cozzo Muoio ai serbatoi di Mendicino è di 34 l/s.

Mese	Q (l/s)
Gen	30.6
Feb	30.6
Mar	30.6
Apr	32.3
Mag	34.0
Giu	35.7
Lug	37.4
Ago	37.4
Set	37.4
Ott	37.4
Nov	34.0

Tabella 2 Portate mensili erogate dal serbatoio Cozzo Muoio ai serbatoi Cozzo Pirillo e Pasquali (Mendicino) (fonte So.Ri.CaL)

Nei grafici di seguito riportati sono mostrati, sulla base dei dati forniti da So.Ri.CaL, le portate in ingresso nel serbatoio Cozzo Muoio da Abatemarco e Bufalo (figura 7), le portate in uscita da Cozzo Muoio verso i serbatoi di Mendicino, Merone e Ospedali (figura 8).

Infine, nel grafico in figura 9, è mostrato un confronto tra le portate provenienti al serbatoio Cozzo Muoio da Bufalo e quelle in uscita da Cozzo Muoio verso i serbatoi di Mendicino.

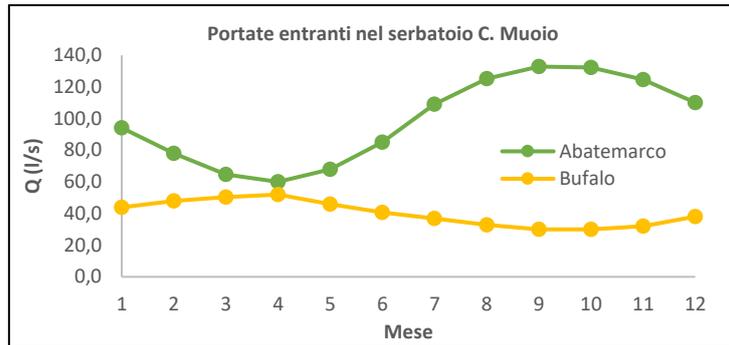


Figura 7 Portate mensili in ingresso nel serbatoio Cozzo Muoio da Abatemarco e Bufalo

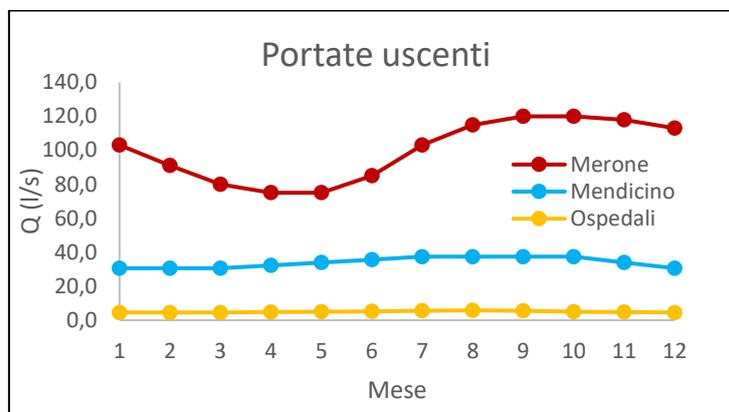


Figura 8 Portate mensili in uscita dal serbatoio Cozzo Muoio verso i serbatoi di Mendicino, Merone e Ospedali

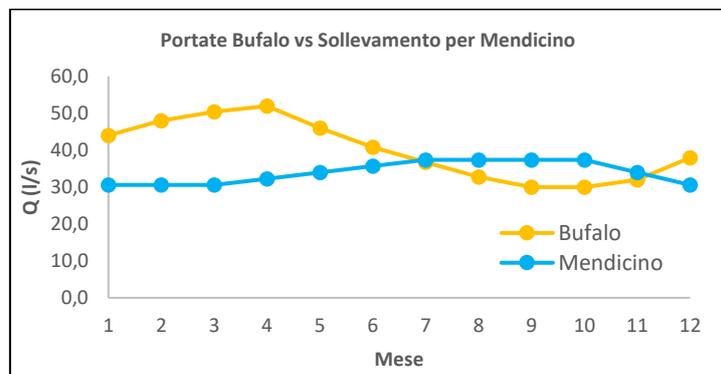


Figura 9 Confronto tra le portate provenienti al serbatoio Cozzo Muoio da Bufalo e quelle in uscita da Cozzo Muoio verso i serbatoi di Mendicino

### 3 DEFINIZIONE DELLO SCHEMA FUNZIONALE

Definito il caso studio e le sue peculiarità, prima di procedere con l'analisi delle diverse componenti e l'ottimizzazione del sistema, è stato elaborato lo schema funzionale (figura 10) descrittivo dell'attività di ricerca alla luce del caso studio considerato. Lo schema funzionale delle attività, riportato in figura 10, mostra il dettaglio dei componenti del sistema globale dalla scala urbana (definito nel testo come macro-sistema) a quella condominiale considerando il caso studio oggetto di analisi.

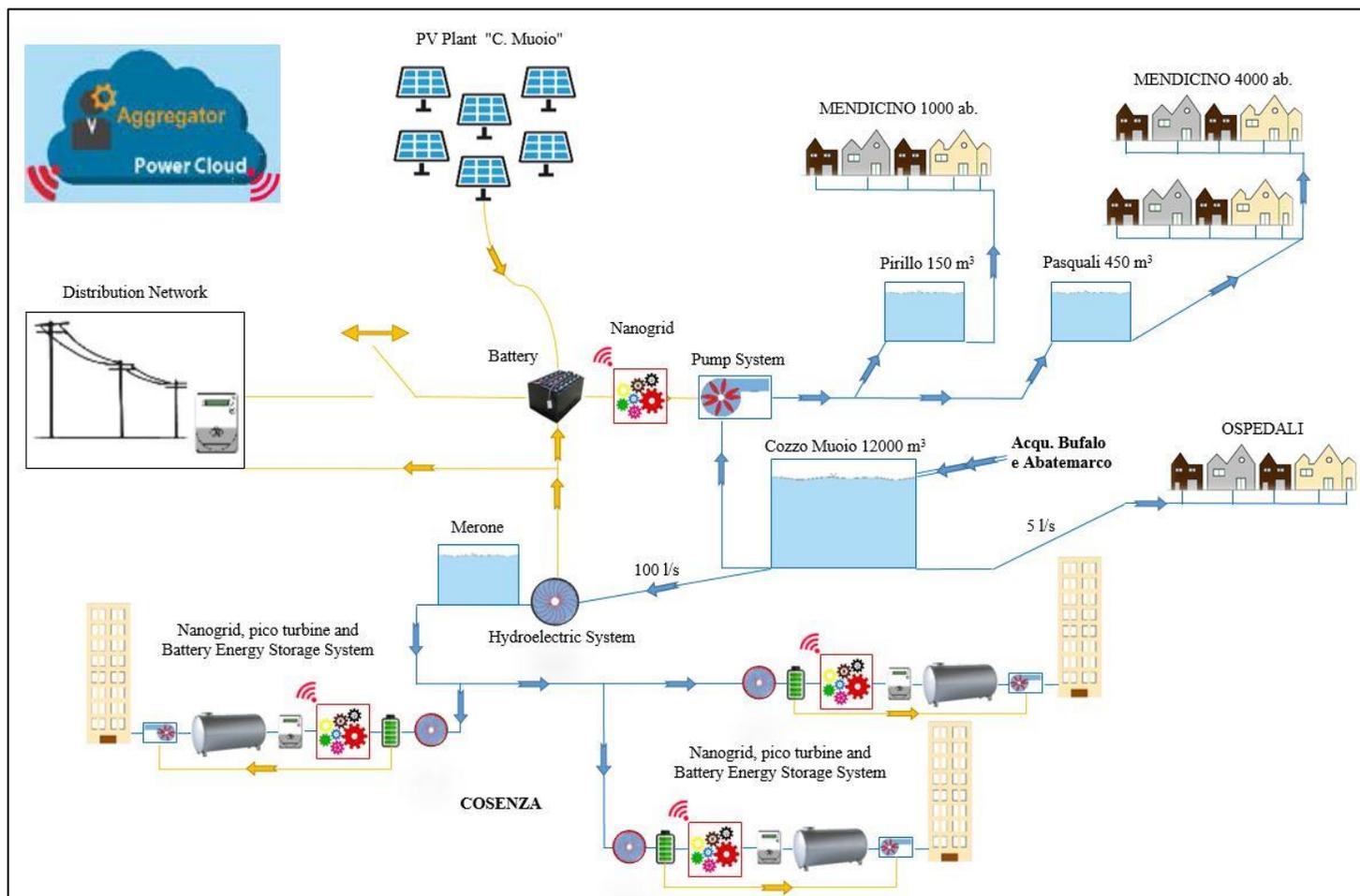


Figura 10 Schema funzionale descrizione delle attività 3.4

## 4 STATO DELL'ARTE

### 4.1 Soluzioni innovative idrico-elettriche

I sistemi fotovoltaici per alimentare il pompaggio dell'acqua, definiti in letteratura come Solar PhotoVoltaic Water Pumping System (SPVWPS), rappresentano una soluzione promettente e diversi studi scientifici si sono focalizzando sulla loro efficienza. Tali sistemi sono costituiti da diversi componenti e presentano una forte interdisciplinarietà che ha attratto nel corso degli anni i ricercatori di diversi campi dell'ingegneria. Le ricerche sviluppate hanno, dunque, contribuito a rendere il sistema più efficiente ed economico per soddisfare le esigenze di pompaggio dell'acqua dell'uomo, del bestiame e dell'irrigazione (Sontake & Kalamkar, 2016).

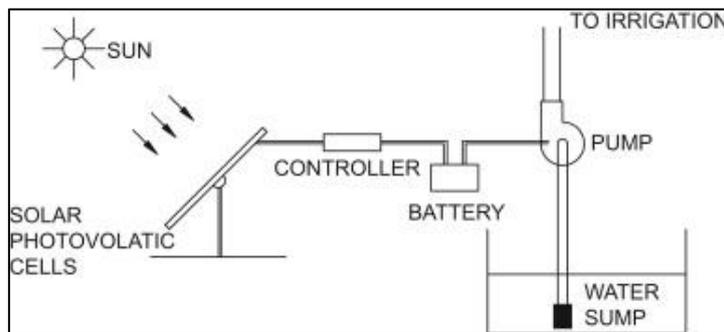


Figura 11 Schema sistema SPVWPS (Gopal et al.,2013)

In linea generale, il sistema SPWPS (figura 11) è costituito da pannelli fotovoltaici, un motore e una pompa; in aggiunta a seconda del sistema, richiede batterie di accumulo, che consentono prestazioni costanti durante le ore di mancanza del sole, e un regolatore di carica. Il motore viene scelto in base alla potenza richiesta e al tipo di corrente erogata dal sistema; se il motore utilizza corrente alternata, è necessario installare un convertitore da corrente continua ad alternata (Gopal et al.,2013).

La scelta della pompa, in linea generale, è legata a: (i) distanza e differenza di quota tra sorgente e destinazione; (ii) tipo di corrente in output dal sistema (continua o alternata). Essendo la corrente in uscita dal PV di tipo continuo, se la pompa utilizzata ha necessità di corrente alternata, è necessario installare un inverter che trasforma la corrente. Per migliorare lo schema costruttivo, può ritenersi necessario utilizzare un sistema a doppia pompa in modo tale da poter regolare continuamente la quantità d'acqua in uscita dal sistema.

L'ingente costo iniziale al quale è soggetta l'installazione di un sistema di questo tipo, rende necessaria una corretta progettazione che tenga conto di tutti i parametri che entrano in gioco nel complesso delle opere che si andranno a realizzare.

Cuadros et al. (2004) ha presentato una procedura per dimensionare la superficie che i pannelli fotovoltaici andranno a occupare. Il caso studio riguarda un sistema di pompaggio per l'irrigazione a goccia di un oliveto in Spagna. Il metodo presentato nel lavoro comprende tre fasi. Nel primo stadio vengono stimate le caratteristiche del suolo, della vegetazione e del clima per stimare la quantità d'acqua necessaria. Nella seconda fase si procede con un'analisi idraulica ricavando la curva caratteristica della pompa necessaria ad innalzare un certo volume

d'acqua per una determinata altezza. Nella fase finale è stata ricavata la massima potenza fotovoltaica necessaria per irrigare il campo di 10 ettari.

Un lavoro simile è stato condotto da Bakelli et al. (2011), che hanno provveduto al dimensionamento del sistema in Figura 12 hanno provveduto al dimensionamento dell'apparato. Come dati in input hanno considerato la radiazione solare nelle diverse fasce orarie, la temperatura ambiente, i requisiti idrici richiesti e le specifiche dei dispositivi del sistema. Per rendere più economica l'installazione hanno preferito inserire all'interno del circuito un serbatoio che accumuli acqua nei giorni di eccessiva offerta (giorni di pioggia) in modo da poterne beneficiare nei giorni di eccessiva domanda (giorni secchi).

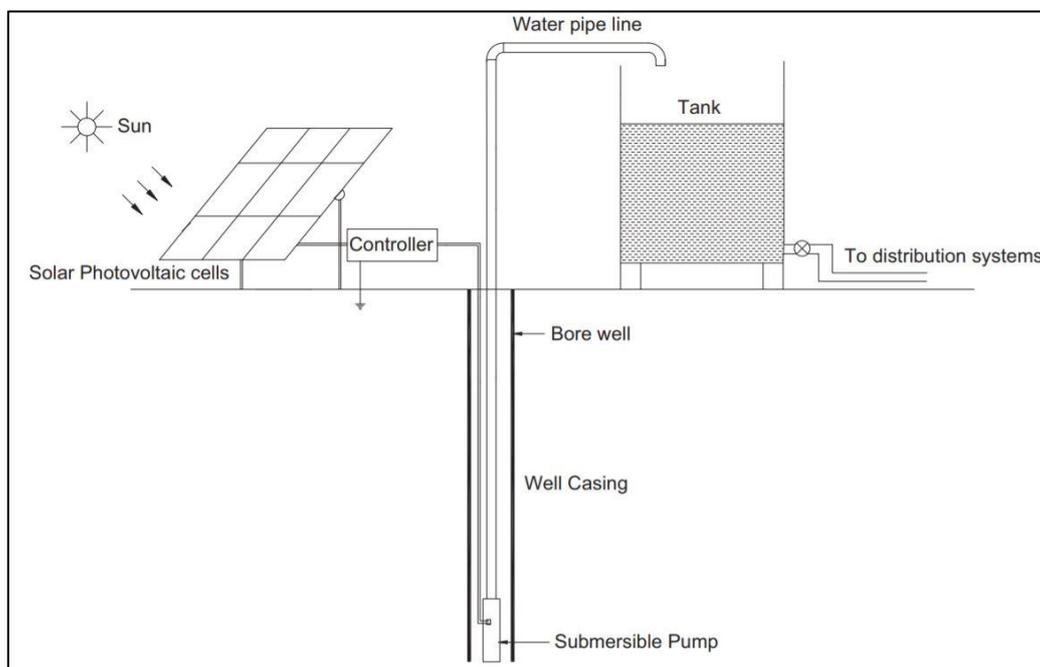


Figura 12 Schema impianto SPVWPS con estrazione di acqua dal sottosuolo (Bakelli et al., 2011)

Firatoglu and Yesilata (2004) hanno considerato i dati meteorologici, misurati su base oraria tra gli anni 1985 e 2001, del sito di progettazione in Turchia, e hanno ricavato i diversi risultati variando l'angolo d'inclinazione tra  $0^\circ$  e  $90^\circ$  a passi di  $1^\circ$  per trovare l'angolo ottimale. Dallo studio è emerso che in caso di sistema di approvvigionamento idrico domestico, la domanda di acqua è circa costante nell'intero anno. In questa situazione, l'angolo di inclinazione ottimale dovrebbe essere di  $20^\circ$ . Se la quantità di acqua durante tutto l'anno deve essere all'incirca stabile, con picchi in estate dovuti all'aumento della popolazione, l'angolo di inclinazione deve essere inferiore al precedente e attenersi intorno ai  $10^\circ$ . Qualora si voglia beneficiare maggiormente della risorsa energetica, sarebbe utile l'installazione di una base semi mobile che permetterebbe al pannello di seguire l'andamento del sole e quindi di poter cambiare la sua direzione e inclinazione in qualunque momento. Nel caso di domanda idrica crescente nel corso dei mesi estivi, è necessario utilizzare un sistema a doppia pompa.

## 4.2 Sistemi idroelettrici

L'energia idroelettrica, fonte di energia rinnovabile e competitiva, contribuisce a oltre il 16% della produzione di elettricità in tutto il mondo e circa l'85% dell'elettricità globale rinnovabile. Tale energia presenta numerosi vantaggi, tra cui un alto livello di affidabilità, tecnologia collaudata, alta efficienza (circa il 90%), costi operativi e di manutenzione molto bassi, flessibilità, grande capacità di stoccaggio, possibilità di stabilizzare le fluttuazioni tra domanda e offerta a sostegno della variabilità di altre fonti di energia rinnovabile (come energia eolica e fotovoltaica) (Casini, 2015).

In linea generale, gli impianti idroelettrici possono essere classificati in base alla potenza nominale in:

- micro-impianti:  $P < 100$  kW;
- mini-impianti:  $100 < P(\text{kW}) < 1000$ ;
- piccoli-impianti:  $1000 < P(\text{kW}) < 10000$ ;
- grandi-impianti:  $P > 10000$  kW.

Nell'ambito della classificazione in base alla potenza nominale, vi sono gli impianti mini-idroelettrici che, a differenza degli impianti idroelettrici tradizionali, rappresentano un'innovazione tecnologica a minore impatto ambientale. In particolare, il funzionamento di tali impianti si basa sullo sfruttamento naturale della corrente idrica.

Lo sviluppo, inoltre, di piccole turbine idroelettriche, compatte e specifiche per l'uso urbano, è possibile sfruttare l'energia idrica per la produzione di energia in loco o per la produzione domestica o per i distretti industriali e agricoli.

### 4.2.1 Mini-idroelettrico

Con il termine mini-idroelettrico si intende lo sfruttamento del potenziale dell'acqua in impianti caratterizzati da modeste potenze. La classificazione ufficiale proposta dall'Unido (United Nations Industrial Development Organization) identifica quattro famiglie di impianti idroelettrici di taglia minore:

- Piccoli impianti, con potenza inferiore a 10 MW;
- Mini impianti, con potenza inferiore a 1 MW;
- Micro impianti, con potenza inferiore a 100 kW;
- Pico impianti, con potenza inferiore a 5 kW.

Questa convenzione è adottata dalla Commissione Europea, UNIPED (Unione Internazionale dei Produttori e Distributori di Energia Elettrica) ed ESHA (European Small Hydro Association).

Si stima che la produzione da impianti con capacità inferiore a 10 MW rappresenti circa il 10% della capacità globale; tuttavia, la definizione di "small hydro" è molto vasta, varia da <1.5 MW in Svezia a meno di 50 MW in Cina (Casini, 2015).

Nella realtà italiana, l’Autorità per l’Energia Elettrica e il Gas (AEEG) pone pari a 3 MW il limite tra le mini e le grandi centrali. Gli impianti al di sotto di questo limite producono energia di significativo valore dal punto di vista della salvaguardia ambientale.

In Italia, la quantità di energia elettrica prodotta annualmente non riesce a coprire interamente i consumi della popolazione creando così un deficit e la necessità di acquistare la quantità mancante da altri paesi. Nella tabella seguente si è classificato, regione per regione, la quantità di energia prodotta ed utilizzata nel corso del 2017.

Regione	GWh prodotti	GWh richiesti
<b>Piemonte</b>	28324.4	25912.7
<b>Valle d'Aosta</b>	2808.2	1123.4
<b>Lombardia</b>	44672.6	68794.9
<b>Trentino-Alto Adige</b>	9173.4	6731.3
<b>Veneto</b>	15532.1	31733.3
<b>Friuli-Venezia Giulia</b>	10119.7	10440.8
<b>Liguria</b>	5848.0	6313.7
<b>Emilia-Romagna</b>	22819.7	29594.9
<b>Toscana</b>	17029.7	20693.6
<b>Umbria</b>	2432.4	5502.5
<b>Marche</b>	3306.4	7457.8
<b>Lazio</b>	20039.1	23462.4
<b>Abruzzi</b>	4890.2	6454.4
<b>Molise</b>	2981.8	1440.7
<b>Campania</b>	10711.7	18424.2
<b>Puglia</b>	31569.7	18770.6
<b>Basilicata</b>	3183.0	3084.2
<b>Calabria</b>	17808.8	6279.2
<b>Sicilia</b>	17201.3	19572.5
<b>Sardegna</b>	12335.3	8761.3
<b>ITALIA</b>	<b>282787.5</b>	<b>320548.2</b>

Tabella 3 Deficit energetica per le regioni italiane ([www.terna.it](http://www.terna.it))

Gli impianti di taglia pico e micro si possono impiegare per la produzione di elettricità per singole utenze o gruppi di utenze, connesse alla rete elettrica in bassa tensione o anche isolate dalla rete elettrica.

L’impiego di macchine micro e pico è estremamente vario: si va da sistemi autonomi in isola (*stand-alone* o *grid isolated/off*) per alimentare rifugi, baite, pompe per pozzi, villaggi, a micro-generazione per alimentare utenze abitative, mini-industriali o aziende agricole con scambio in rete; in questo caso le uniche limitazioni sono

costituite dalla disponibilità di spazio e di denaro. I gruppi di generazione di taglia pico e micro-idroelettrico sono i più diffusi in tutti i mercati del mondo per le dimensioni, l'economicità e la duttilità di impiego; sono inoltre facilmente installabili e robusti, utilizzano materiali e parti facilmente reperibili, si prestano a una grande varietà di soluzioni e realizzazioni impiantistiche.

Tutti questi impianti si prestano bene per importanti sviluppi legati a gruppi di microgenerazione ibrida, dove il gruppo di generazione è costituito da un insieme di generatori, mossi da fonti di energia eterogenee che possono produrre insieme o alternativamente, a seconda della disponibilità e della richiesta: nascono così gruppi idroelettrico/fotovoltaico, idroelettrico/motori a combustione interna di policombustibili, idroelettrico/celle combustibili e produzione di idrogeno.

In linea generale, per un progetto idroelettrico i principali elementi di criticità sono rappresentati da:

- producibilità elettrica dell'impianto;
- contratto di vendita/cessione dell'energia (nel caso non si consumi tutta);
- autorizzazioni e concessioni.

Un impianto idroelettrico è alimentato da una fonte di energia rinnovabile, considerata intermittente, quale l'acqua. Questa fonte di energia non può essere impiegata a discrezione, ma solo quando è effettivamente disponibile, pertanto la producibilità di un impianto idroelettrico è legata alla disponibilità dell'acqua.

#### 4.2.2 Mini-idroelettrico all'interno di una rete acquedottistica

I sistemi idroelettrici possono essere impiegati nei comuni, nelle industrie e nelle realtà agricole di irrigazione fornendo una quantità costante di energia pulita e continua senza la tipica intermittenza da cui sono caratterizzati gli altri sistemi di produzione di energia rinnovabile (vento, sole). L'impianto può essere installato all'interno dei più comuni materiali per tubazioni quali acciaio, calcestruzzo, ecc. fornendo energia pulita senza ripercussioni ambientali. Poiché la maggior parte delle condutture scorre sottoterra, tali sistemi sono anche protetti da atti vandalici, furto o incidenti vari e sono compatibili anche con città storiche o luoghi con rigide disposizioni di salvaguardia del paesaggio.

Un ulteriore vantaggio dell'integrazione di questa tecnologia è la possibilità di controllare meglio la sovrappressione e di abbassarla laddove necessario, evitando sollecitazioni eccessive dell'infrastruttura e allungando la vita di servizio di tutte le componenti (Casini,2015).

L'adozione di un sistema così formulato può essere adottato in due diverse forme (Casini, 2015):

- sistemi interni, in cui la turbina si trova interamente all'interno della sezione del tubo e solo il generatore sporge dal condotto;
- sistemi esterni, in cui la turbina è contenuta in un condotto secondario.

I sistemi interni hanno il vantaggio di una dimensione più compatta, hanno una potenza compresa tra 5-10 watt. I sistemi interni sono basati su turbine tradizionali in linea, turbine tubolari, o design più innovativi come le bobine Archimede, con asse orizzontale parallelo al flusso d'acqua. Tali sistemi sono disponibili in diverse dimensioni per diverse applicazioni per applicazioni in tubi da soli 80 mm di diametro a 1500 mm (più adatto per applicazioni su larga scala come acquedotti urbani).

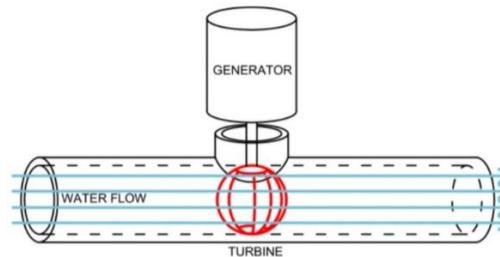


Figura 13 Sistema interno di una turbina per generare energia elettrica (Casini, 2015)

I sistemi esterni non hanno una forte dipendenza dalle dimensioni del tubo poiché la turbina è situata all'interno di una condotta dedicata. Necessitano, dunque, ulteriore spazio per ospitare la turbina e il gruppo elettrogeno, gli stessi, sono, pertanto, meno ideali per interventi di retrofit su infrastrutture idriche esistenti. La maggior parte dei prodotti disponibili impiegano turbine Francis con una potenza nominale che passa da 3-10 kW a 5-30 kW per applicazioni più piccole fino a 30-350 kW per le applicazioni su larga scala.

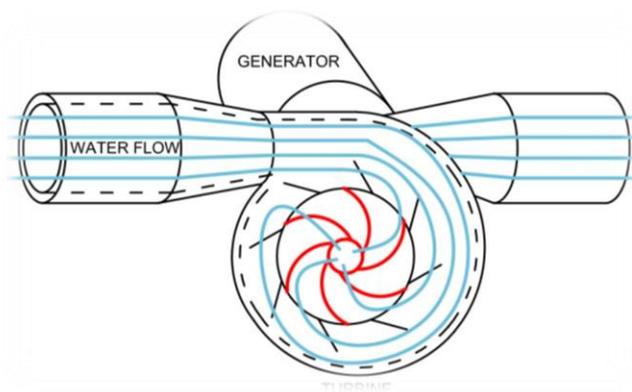


Figura 14 Sistema interno di una turbina per generare energia elettrica (Casini, 2015)

#### 4.2.3 Principali applicazioni dei sistemi idroelettrici a scala urbana e condominiale

Tutte le città sono servite da sistemi di tubazioni pressurizzate per fornire acqua dove è necessario (uso domestico, industriale, agricolo). Questi detengono energia non sfruttata, derivante da un'abbondante pressione che spesso è necessario ridurre per evitare l'insorgere di rotture. Per questo, tipicamente, si installano valvole di riduzione della pressione ("PRV") - dispositivi idraulici che mantengono intervalli di pressione preimpostati - per scaricare la pressione eccessiva e rilasciarla come calore residuo. Teoricamente, tutti i sistemi che impiegano dispositivi di riduzione della pressione potrebbero essere sostituiti con generatori di energia elettrica, mantenendo lo stesso controllo sul flusso e sulla pressione.

*Applicazioni in ambito urbano*

Su vasta scala urbana, questi sistemi possono trovare diverse applicazioni. Potendo stabilire il carico da abbattere, è possibile regolare perfettamente questi sistemi affinché non vi siano disagi per gli utenti garantendo la massima produzione possibile di energia (Miotto et al., 2008). Inoltre, ulteriore vantaggio nell'applicazione di questa tecnologia deriva dall'interazione che sussiste tra pressione e perdite di fluido all'interno della rete acquedottistica. Si è visto, infatti, che all'aumentare delle pressioni si ha un aumento delle perdite. Andando ad abbattere il carico, quindi, oltre ad una produzione di energia elettrica, si ha un minor spreco di risorsa.

Negli Stati Uniti, le sole perdite all'interno del sistema acquedottistico rappresentano circa 7 miliardi di litri d'acqua ogni giorno, stima effettuata dall'American Society of Civil Engineers (2009).

In Israele, la società Hydro Spin ha installato diverse microturbine per alimentare sistemi di monitoraggio della portata e sistemi di verifica della qualità dell'acqua che forniscono dati e consentono risposte rapide in caso perdite di pressione o diminuzioni di portata.

Nel 2015 la città di Portland ha fatto notizia installando un Lucidpipe Power System in una delle sue principali linee (Figura 15). Le quattro turbine ad asse verticale da 42" hanno una potenza totale di 200 kW.

Un impianto Lucidpipe a tre turbine da 60 kW è stato installato anche a San Antonio, in Texas, mentre l'installazione pilota a Riverside, in California (Figura 16) è attiva da gennaio 2012.



Figura 15 Installazione di Lucidpipe a Portland ([www.nextech](http://www.nextech))



Figura 16 Installazione di Lucidpipe a Riverside (California) ([www.ijsge.com](http://www.ijsge.com))

*Applicazioni in ambito condominiale*

Un'altra potenziale fonte di energia risiede nei sistemi di approvvigionamento delle singole abitazioni, con particolare riferimento ai grandi edifici, centri residenziali o centri commerciali. In particolare, gli edifici ad altezza maggiore richiedono elevate pressioni per fornire acqua ai piani più alti e l'eccesso di carico nelle sezioni inferiori viene solitamente sprecato tramite PRV senza pensare alla possibilità offerta dal mini-idroelettrico. A Hong Kong la Sino Group sta collaborando con Arup e Hong Kong Polytechnic University per installare la loro turbina ad asse verticale da 100. Un primo prototipo è stato installato nel centro commerciale Olympian City 2 con lo scopo di alimentare un sistema di illuminazione per ascensori. La società sta, inoltre, installando turbine in uno nuovo edificio residenziale per alimentare i sistemi di illuminazione nei vani scala, negli ascensori e nella hall.

Per le applicazioni in singole unità abitative, requisiti ridotti di spazio e di carico idrico diventano ostacoli per qualsiasi installazione di dispositivi per la produzione di energia. In queste situazioni, le macchine di solito producono poca energia e sono più adatte per alimentare dispositivi di misurazione e controllo o piccoli sistemi di illuminazione. Nello studio (Hoffmann et al., 2013) è stato sviluppato un contatore idrico automatico alimentato da un sistema idroelettrico in grado di generare fino a 720 mW quando si utilizza una portata di 20 l/min. In questo modo è possibile aggiungere dispositivi di misurazione ovunque nei sistemi di tubazioni esistenti senza la necessità di connessioni elettriche poiché i dispositivi sono autoalimentati e trasmettono direttamente i dati. Questo generatore si basa su una girante accoppiato ad un trasduttore di energia elettromagnetica, costituito da un magnete ad anello a due poli e tre bobine di induzione insieme ad una batteria (Figura 17).

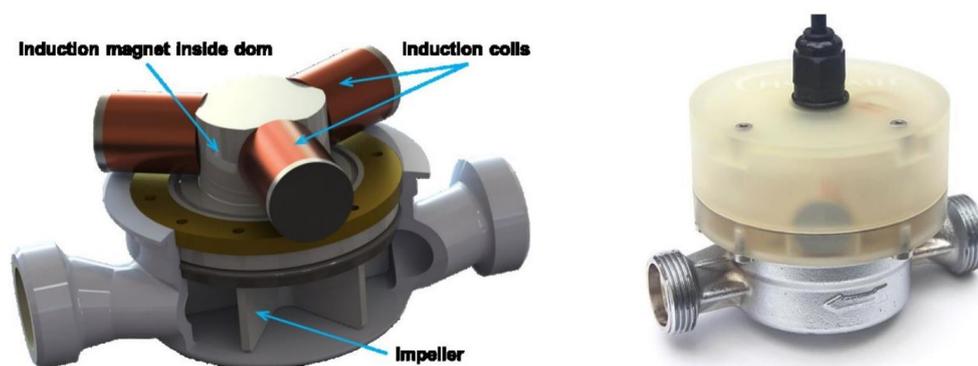


Figura 17 Generatore di energia a flusso radiale (Hoffmann et al., 2013)

Da prove sperimentali condotte su questo strumento, è stato ricavato un quadro esplicativo che dà informazioni riguardo alla potenza generata in funzione di portata e carico da abbattere.

In linea generale, nel caso di applicazione di sistemi pico-idroelettrici a livello condominiale, i principali parametri da considerare per la realizzazione dell'impianto sono la portata dell'acqua e la pressione dell'acqua all'interno della tubatura. Per questo motivo, l'edificio ideale per il quale si avrebbe il massimo rapporto di

produttività, corrisponderebbe ad avere un numero di piani ridotto e un numero di utenze (persone) il più elevato possibile.



Figura 18 Impianto idroelettrico domestico ([www.ecoticias.com](http://www.ecoticias.com))

#### 4.2.4 Analisi di mercato dei sistemi pico-idroelettrici

La conoscenza del mercato è fondamentale per approcciarsi correttamente ad una progettazione. Le diverse turbine disponibili hanno prezzi molto differenti tra loro, dovuti alla differente quantità di potenza prodotta oppure alla diversa fattura dei materiali utilizzati o alla diversa prestazione offerta al sistema. È necessario, quindi, confrontarsi con tutte le soluzioni progettuali possibili e scegliere quella che meglio si adatta alla spesa e al ritorno economico che si vuole percepire.

Le turbine Pelton (Figura 19) sono considerate come principale soluzione per tutte le situazioni nelle quali ci siano utenze ridotte che vogliano avere il massimo rendimento in termini energetici.



Figura 19 Turbina Pelton ([www.earthpowernews.com](http://www.earthpowernews.com))

La società produttrice dell'apparecchio fornisce la seguente formula per il calcolo della potenza generata:  $Potenza = Pressione \times Portata \times 5$ , dove "5" è un coefficiente che tiene conto dell'accelerazione di gravità meno le perdite localizzate. Nella Figura 20 è raffigurato l'abaco caratteristico della turbina.

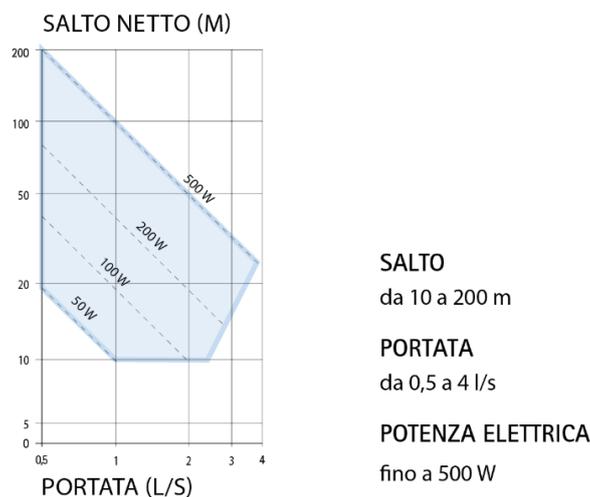


Figura 20 Prestazioni in funzione del salto e della portata ([www.irem.it](http://www.irem.it))

Una turbina Pelton che considera un range di portate più ampio è quella che presenta il seguente abaco di produttività (Figura 21).

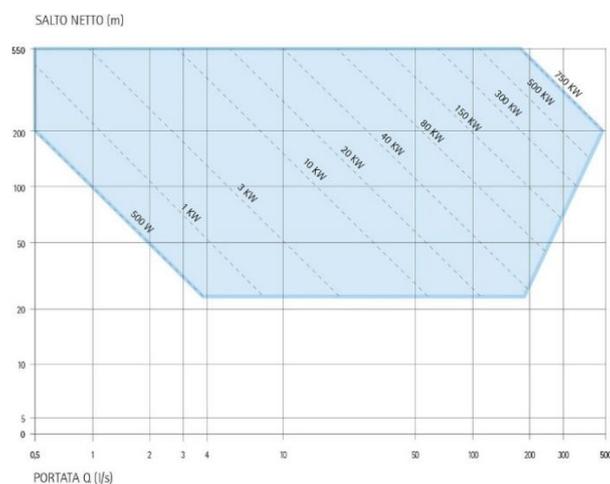


Figura 21 Abaco produttività ([www.irem.it/](http://www.irem.it/))

La società IREM (produttrice di queste turbine) dichiara che attualmente sono attive oltre 150 installazioni che quotidianamente producono elettricità dai loro acquedotti.

La turbina HI-Power (Figura 22), invece, presenta le seguenti caratteristiche:

- Carico: da 12 a 122 metri
- Portata: da 0.3 a 7 litri/secondo
- Potenza massima: 1200 watts
- Efficienza: 30% to 70%
- Voltaggio batteria: 12V, 24V, 48V, 96V
- Costo: da € 1200 a € 1400

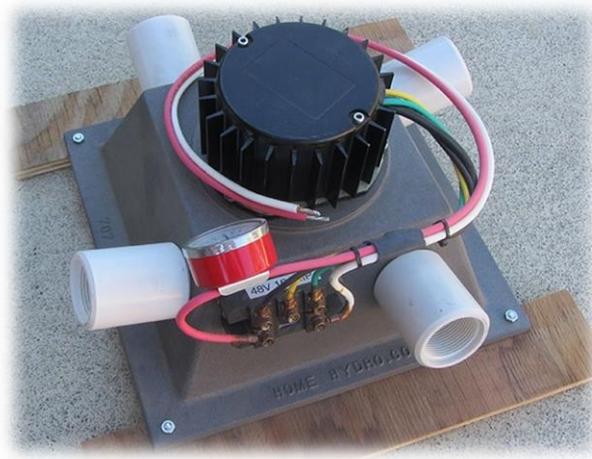


Figura 22 HI-Power ([www.sierrasolarsystems.com](http://www.sierrasolarsystems.com))

Nella figura 23 si mostra una possibile configurazione del suddetto sistema.

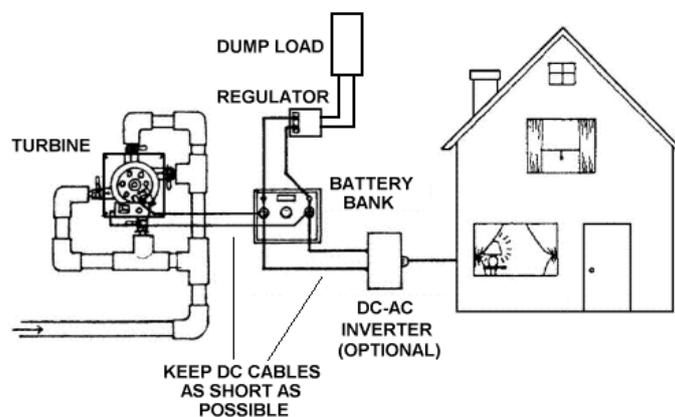


Figura 23 Configurazione del sistema ([www.sierrasolarsystems.com](http://www.sierrasolarsystems.com))

La turbina Harris (Figura 24) utilizza una ruota Pelton di bronzo e un alternatore a magnete. Le sue caratteristiche tecniche sono:

- Carico: da 6 a 180 metri
- Portata: da 0 a 16 litri/secondo
- Potenza massima da 12 volt: 700 watt
- Potenza massima da 24 volt: 1400 watt
- Potenza massima da 48 volt: 2500 watt
- Costo: da € 2000 a € 2300

Sono disponibili con uno, due o quattro ugelli, a seconda del flusso d'acqua e dei requisiti del sistema. Queste turbine possono essere dotate di tubi con diametro fino a 1/2".



Figura 24 Harris ([www.sierrasolarsystems.com](http://www.sierrasolarsystems.com))

Per portate inferiori, si può considerare Water Baby (Figura 25) prodotto da un'azienda che ha sede in Australia, che presenta le seguenti caratteristiche:

- Carico: da 15 a 150 metri
- Portata: 0,5 a 2 litri/secondo
- Potenza massima: 250 W
- Costo: circa € 1800



Figura 25 Water baby ([www.rpc.com.au](http://www.rpc.com.au))

Nella Figura 26 si riportano le prestazioni che l'azienda fornisce riguardo all'utilizzo di questo generatore.

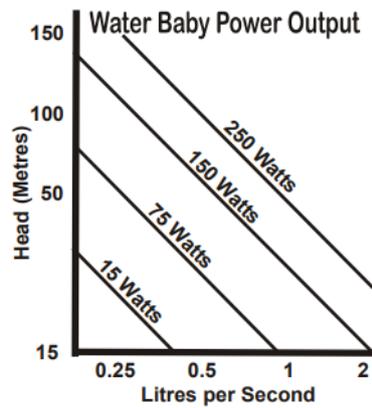


Figura 26 Range di produttività ([www.rpc.com.au](http://www.rpc.com.au))

Le sue dimensioni sono tra le più piccole sul mercato (Figura 27) e lo rendono adatto ad essere installato in qualunque situazione. Water Baby utilizza un alternatore a magneti ad alta efficienza che non ha necessità di manutenzione. È disponibile da 12V, 24V o 48V DC. Può anche essere dotato di ugelli aggiuntivi (fino a 4 in totale) per adattarsi a una maggiore portata.

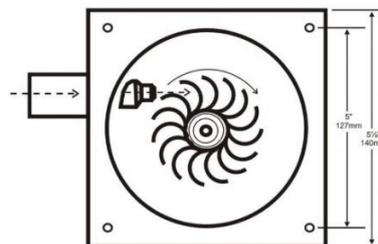


Figura 27 Dimensioni in pianta ([www.rpc.com.au](http://www.rpc.com.au))

L'azienda ABS Alaskan produce due turbine (Harris Pelton e Stream Engine) che hanno lo stesso funzionamento delle precedenti e si differenziano tra loro in base al carico e alla portata minima di esercizio.

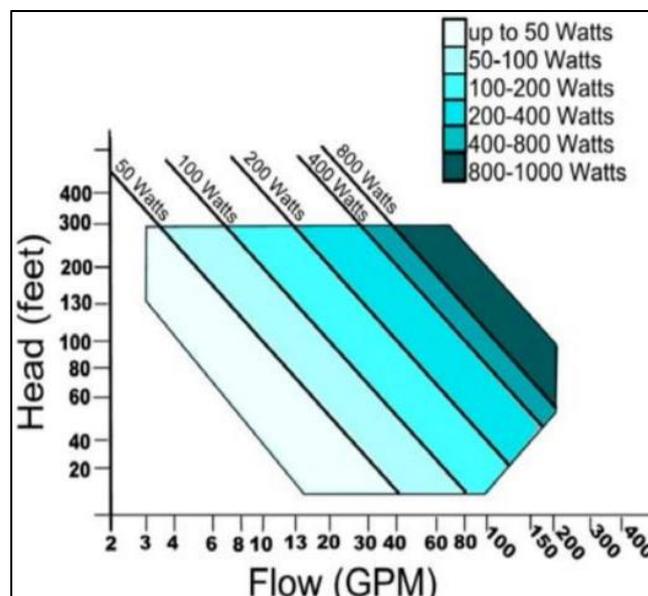


Figura 28 Rendimento Harris Pelton ([www.absak.com](http://www.absak.com))

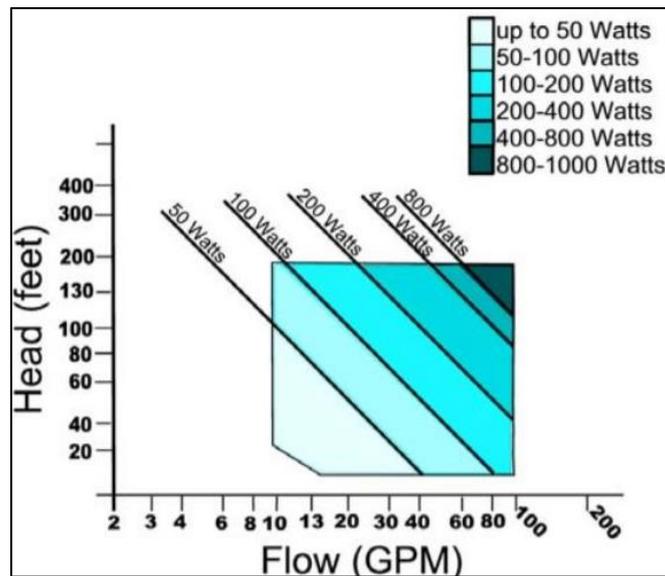


Figura 29 Rendimento Stream Engine (www.absak.com)

### Studio di fattibilità

Come ampiamente discusso, l'adozione di un impianto pico idroelettrico può rappresentare un'ottima soluzione di investimento sia per i comuni che per i singoli edifici. Ovviamente, uno studio preliminare sul rapporto costo/rendimento è necessario a priori dell'effettiva messa in opera.

Le diverse aziende che implementano questa tecnologia stimano un costo complessivo compreso tra i €2000 e i €4000 per KW installato. I costi di gestione dichiarati sono sempre ininfluenti rispetto alla potenza generata e analogamente i costi di manutenzione sono estremamente ridotti. Ulteriore vantaggio è dato dalla vita utile dichiarata che è sempre superiore ai 25-30 anni.

L'azienda AC-TEC costruisce appositamente la turbina in funzione dei dati forniti dall'utente in maniera tale da ottenere sempre la miglior efficienza in qualsiasi situazione. Simulando un edificio che registra portate di 0.1 l/s si ottiene una produzione di 0.1 KW abbattendo un carico di 65 metri. Si otterrebbe la stessa potenza qualora vi sia una portata di 0.3 l/s con un carico di 25 metri. Il fattore tempo è certamente la componente critica del sistema in quanto si ipotizza sempre un uso continuo della risorsa idrica che ovviamente non può essere assunto tale nella maggior parte dei casi. Questo rappresenta anche il maggior ostacolo che potrebbe incontrare l'utente nella realizzazione. Per questo, lo studio preliminare è sempre indispensabile e rappresenta l'unico criterio secondo il quale risulti utile o meno l'implementazione di questa tecnologia.

### Elementi critici del pico-idroelettrico

A differenza delle altre forme di energia rinnovabile, l'idroelettrico presenta meno inconvenienti. I problemi sono dovuti anche qui alla discontinuità della risorsa perché ovviamente, la produzione di energia si ha solamente nell'intervallo di tempo di utilizzo dell'acqua. La variabilità è estremamente incontrollata in quanto, ad intervalli secchi potrebbero susseguirsi intervalli con ingenti prelievi dalla rete. Questa intermittenza nel breve periodo

determina sollecitazione che, a lungo andare, potrebbero essere problematiche per il sistema. Inoltre, qualora vi fosse molta richiesta di acqua, il carico residuo “a valle” della turbina potrebbe essere insufficiente in queste situazioni caratterizzate da tante perdite di carico localizzate quanti sono gli apparecchi di prelievo in funzione. Anche in questa situazione risulta indispensabile progettare scegliendo un adeguato tempo di ritorno dell’impianto, accettando così che questo possa andare in crisi per determinate situazioni. Ovviamente il sistema riprenderebbe a funzionare nell’immediato istante in cui si riduce il numero di apparecchi di prelievo (diminuiscono le perdine localizzate).

#### 4.2.5 Analisi si mercato delle turbine per l’installazione a scala urbana

L’azienda IREM di cui abbiamo già analizzato la soluzione in ambito pico idroelettrico, propone anche una valida soluzione da installare lungo le condotte comunali. Sono proposte due diverse turbine che si adattano a molteplici situazioni. Ovviamente, in funzione delle caratteristiche del sito, si sceglie in base al miglior rendimento.



Figura 30 Turbina Banki ([www.irem.it](http://www.irem.it))

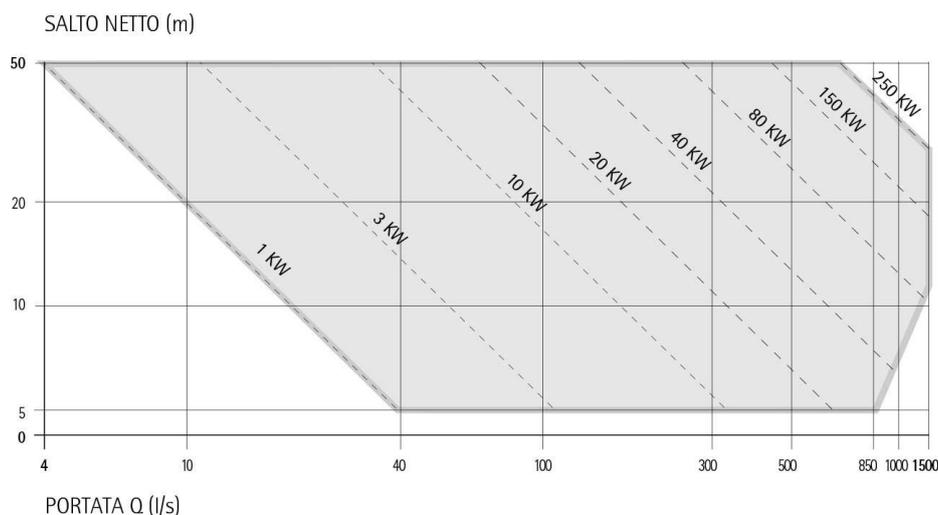


Figura 31 Curva caratteristiche turbina Banki ([www.irem.it](http://www.irem.it))



Figura 32 Turbina Pelton ([www.irem.it](http://www.irem.it))

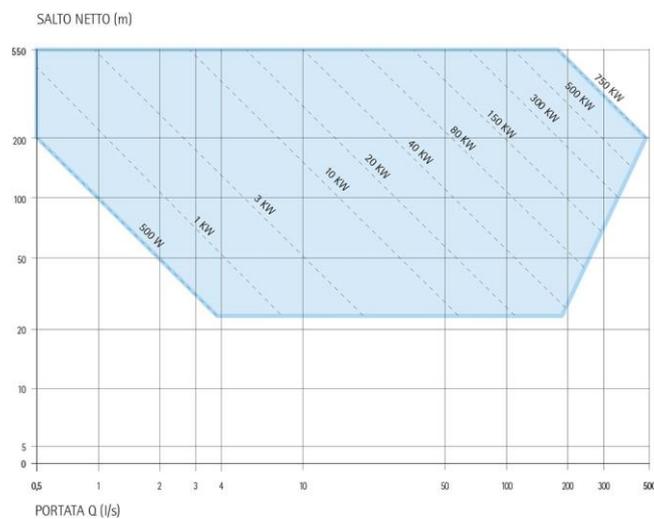


Figura 33 Curva caratteristiche turbina Pelton ([www.irem.it](http://www.irem.it))

I due apparecchi hanno range di funzionamento estremamente diversi. La turbina Pelton è più adatta a situazioni di alto carico e ingenti portate (Morreale et al., 2014).

L'azienda italiana O.M.TON propone 3 differenti turbine: Pelton, Kaplan, Francis. Nella figura 34 si riportano i range di applicazioni.

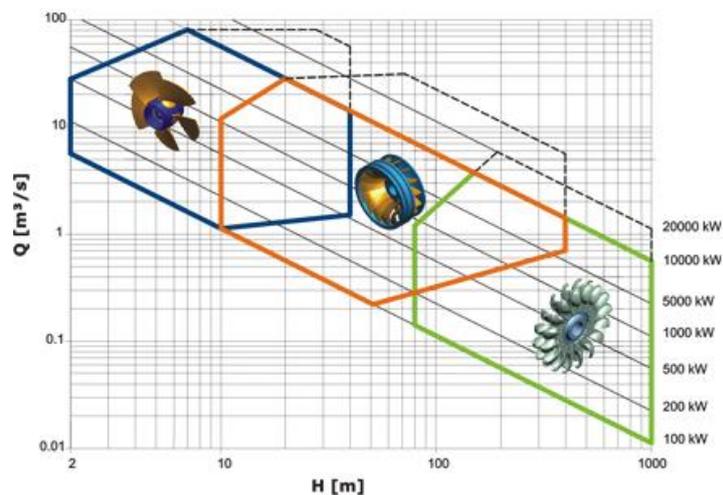


Figura 34 Range di applicazione delle turbine O.M.TON (in verde: turbina pelton; in arancio: turbina kaplan; in blu: turbina francis) ([www.omton.it](http://www.omton.it))

## Turbine Pelton

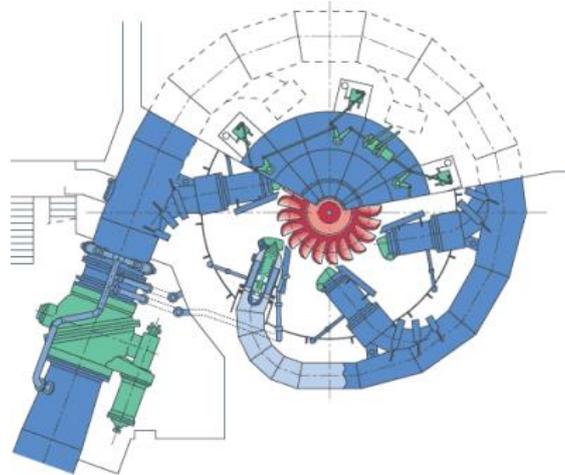


Figura 35 Turbina Pelton ([www.omton.it](http://www.omton.it))

Le turbine Pelton (Figura 35) possono essere dotate di 1 o più ugelli di iniezione (max 6), devono essere adeguatamente protette dal distacco del carico, manovra che potrebbe portare la turbina a velocità di fuga distruttive. Sono dotate allo scopo di tegolo deviatore.

All'uscita della pala la velocità dell'acqua è quasi nulla, per cui la cassa che contiene ruota e ugelli iniettori non deve resistere a nessuna pressione particolare e può quindi essere di costruzione leggera. Le turbine Pelton sono usate per salti d'acqua che vanno dai 50 ai 1300m totali.

## Turbine Francis

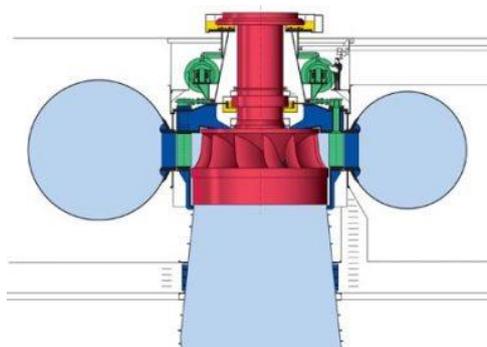


Figura 36 Turbina Francis ([www.omton.it](http://www.omton.it))

Le turbine Francis (Figura 36) sono turbine a reazione, dove l'acqua si muove come in una condotta in pressione. Il distributore a pale regolabili (cassa a spirale), convoglia l'acqua alla girante a pale fisse. La cassa a spirale ha dimensioni notevoli rispetto alla girante. In questo tipo di turbine l'alimentazione è quasi sempre radiale mentre lo scarico è assiale. Le turbine Francis sono utilizzate per salti medi, compresi tra i 10 e 350 m.

## Turbine Kaplan

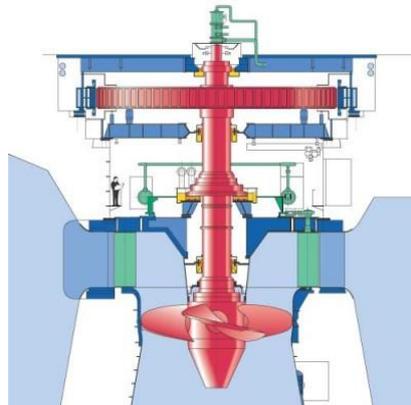


Figura 37 Turbina Kaplan ([www.omton.it](http://www.omton.it))

Le turbine Kaplan (Figura 37) sono turbine a reazione a flusso assiale, utilizzate generalmente per bassi salti. Le pale della ruota nella Kaplan sono sempre regolabili, mentre quelle del distributore possono essere fisse (semi Kaplan) o regolabili.

## Turbine Banki

La turbina Cross Flow (o turbina Bánki-Michell, o turbina Ossberger) è adatta ad una gamma molto ampia di portate e salti tra 5 m e 200 m. Il suo rendimento massimo è inferiore all'87%, e si mantiene quasi costante quando la portata discende fino al 16% della nominale e può raggiungere una portata minima teorica inferiore al 10% della portata di progetto (Figura 38).

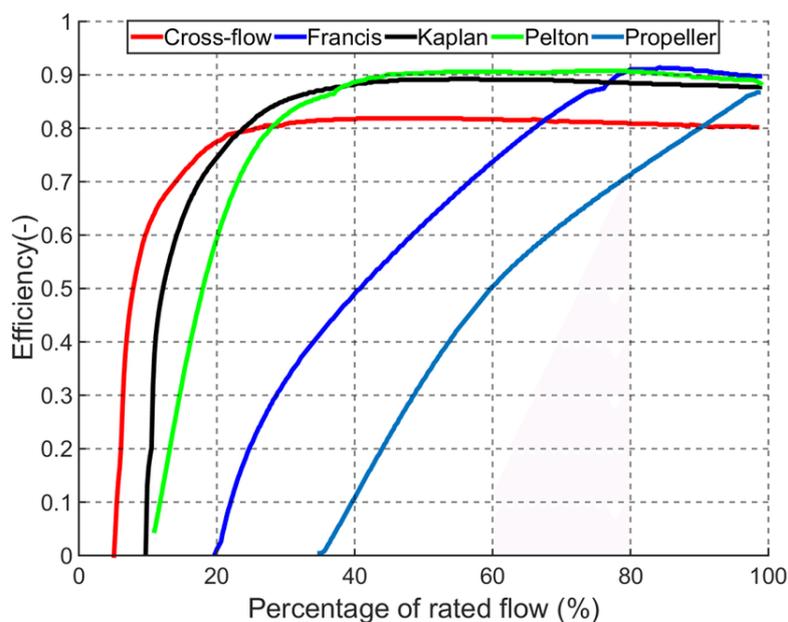


Figura 38 Efficienza Turbine ([www.researchgate.net](http://www.researchgate.net))

Le componenti principali sono:

- il rotore, costituito dall'insieme delle pale e dall'albero centrale;
- l'iniettore, nella versione economica, è costituito da una cassa che avvolge in parte il rotore, ma non garantisce la variazione della portata fino all'83% in meno della  $Q$  di progetto come garantito da quelle regolate con doppio o singolo pomolo o flap deflettore tipo le turbine della Ossenberger (detentriche del brevetto originale) o similari. La sua sagomatura e in alcuni modelli la parzializzazione e divisione della portata divisa in  $2/3$  e in  $1/3$  consente arrivare appunto alla variazione massima sopracitata della portata e di indirizzare correttamente il flusso idrico sulle pale del rotore, con un arco di ammissione e geometria dell'iniettore che varia da circa  $45^\circ$  per quelle economiche o fatte in casa a un massimo di  $120^\circ$  per le professionali tipo le Ossenberger, raramente in altri casi si superano i  $90^\circ$ , generalmente l'acqua investe le pale con un angolo di circa  $16/17^\circ$  sulla tangente del rotore.
- la cassa, tramite la quale l'acqua esce dalla turbina per essere scaricata in modelli professionali è a tenuta sull'albero turbina ed è fornita di condotto di scarico in aspirazione anche non tronconico come per le turbine a reazione, questo aiuta il rendimento totale ma non dà i vantaggi come per le turbine a reazione, essendo la Banki una turbina principalmente ad azione con una piccola reazione sullo scarico.

Il principio di funzionamento è il seguente: l'acqua, guidata dall'iniettore, entra tra le pale, percorre trasversalmente l'interno del rotore e quindi si scarica attraversando di nuovo le pale dalla parte opposta. Questo sistema fa sì che le pale siano percorse dall'acqua in entrambi i sensi (dall'esterno verso l'interno in ingresso, viceversa in uscita), facilitando la rimozione di eventuali corpi estranei. Quando le pale vengono investite dal flusso idrico, il rotore entra in rotazione e l'albero centrale trasmette l'energia meccanica così prodotta al generatore di corrente elettrica ad esso collegato.

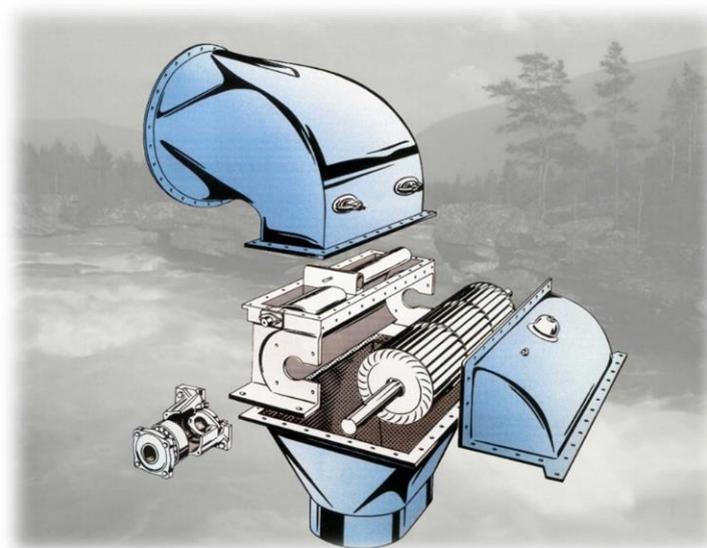


Figura 39 Turbina Banki (wikipedia.it)

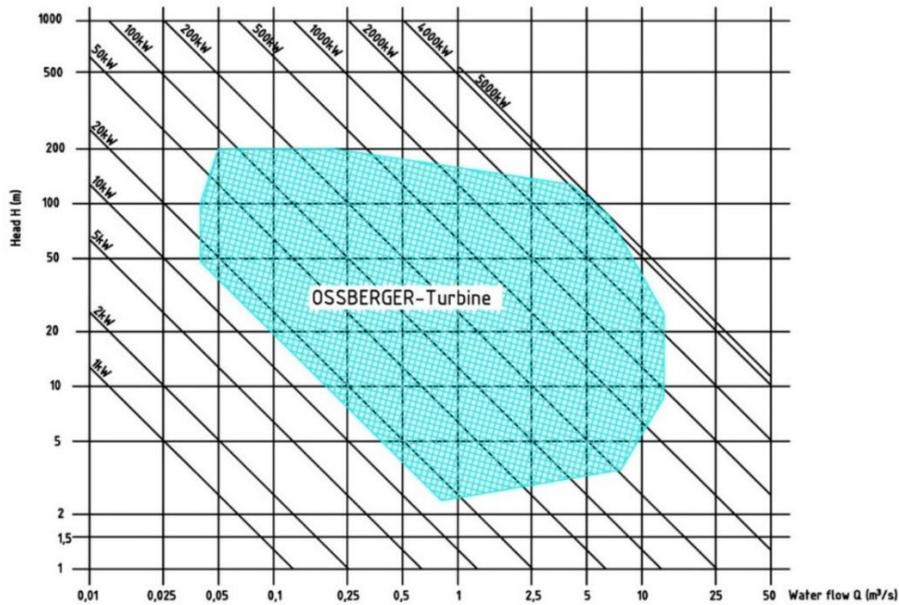


Figura 40 Turbina Banki prodotta dall'azienda che ne detiene il brevetto ([www.ossbergerhydro.com](http://www.ossbergerhydro.com))

L'azienda AC-TEC produce turbine Banki con rendimenti medesimi a quella appena trattata e, inoltre, riporta numerosi casi applicativi che riguardano l'Italia e non solo.

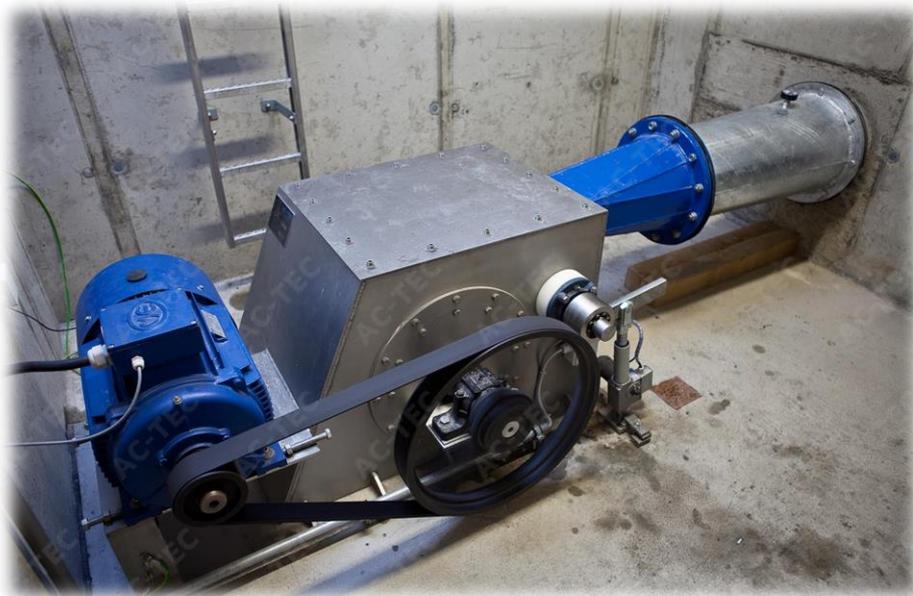


Figura 41 Turbina Banki prodotta dall'azienda AC-TEC ([www.ac-tec.it](http://www.ac-tec.it))

Si riportano di seguito le prestazioni inerenti delle turbine Banki installate dall'azienda.

LUOGO	CARICO (METRI)	PORTATA (L/S)	POTENZA (KW)
VALLE MOSSO (IT)	29	50	9.7
RIEFENSTEIN/HOMBURG (D)	21	90	12.4
CAMPOBASSO (IT)	16	40	4
WESSOBRUN (D)	30	50	10
VARENA (IT)	16	80	8.3
MODENA (IT)	11	250	16.8
APRILIA (IT)	14	333	35
FROSINONE (IT)	10	230	15
LANDRIANO (IT)	20	250	30
FLATTACH (A)	15	300	31

Tabella 4 Casi studio turbina Banki azienda AC-TEC ([www.ac-tec.it](http://www.ac-tec.it))

L'azienda JLA Hydro, con sede in Belgio, produce una turbina banki denominata JLA29 con le seguenti caratteristiche:

- Carico: da 2.5 a 80 metri
- Portata: da 30 a 600 litri/secondo
- Potenza: da 2 a 120 kW
- Velocità: da 200 a 1100 RPM

Di seguito si riporta il grafico fornito dalla casa produttrice

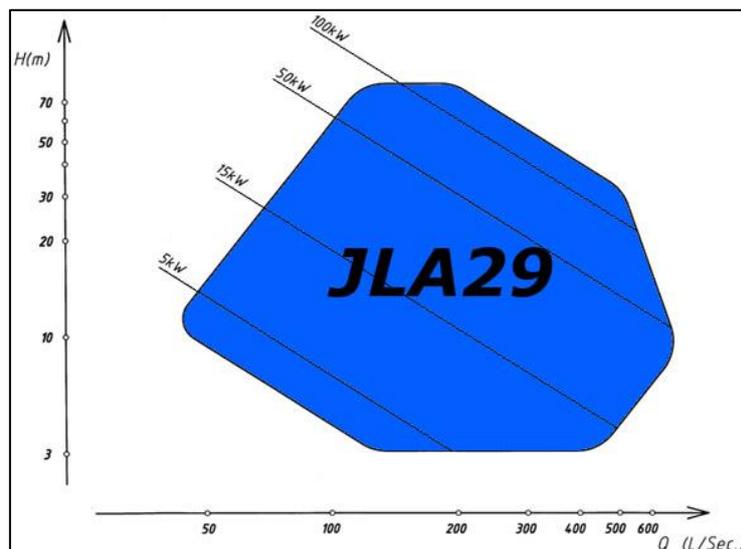


Figura 42 Rendimento turbina Banki dell'azienda JLA Hydro ([www.jlahydro.be](http://www.jlahydro.be))

L'azienda ALTMAN Power con sede in India riassume in un quadro complessivo (Figura 2.39) tutte le turbine di loro produzione.

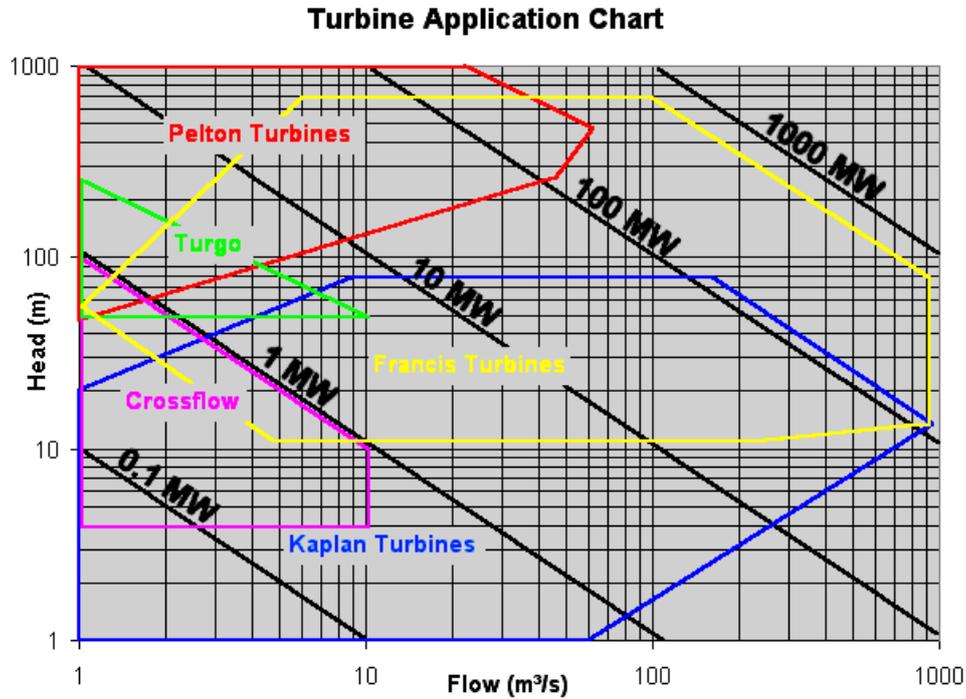


Figura 43 Rendimento turbine ALTMAN Power ([altmanpower.com](http://altmanpower.com))

Infine, si riportano i dati forniti dall'azienda canadese GreenBug Energy che da un risultato simile a quello precedente.

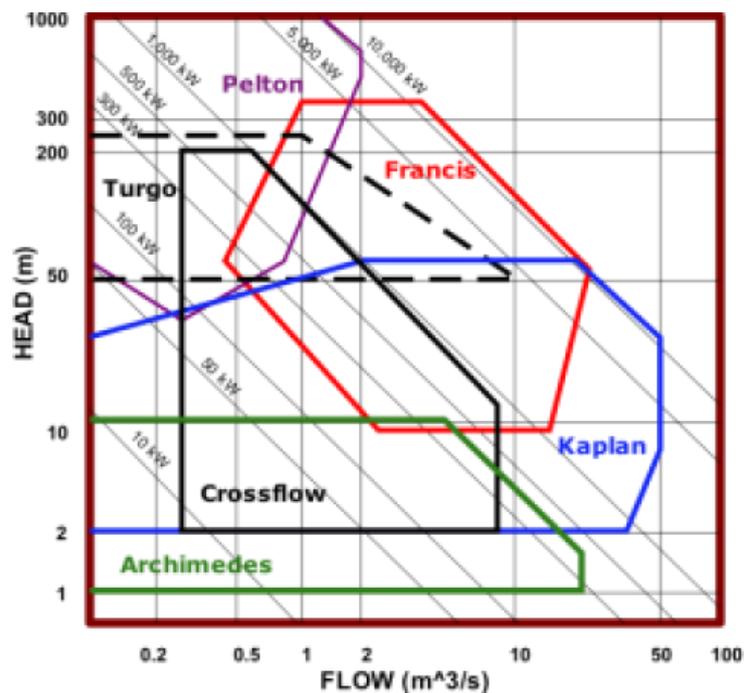


Figura 44 Rendimento turbine GreenBug Energy ([greenbugenergy.com](http://greenbugenergy.com))

### 4.3 Sistemi ibridi

I sistemi ibridi sono l'associazione di due o più sistemi di generazione, in parte convenzionali, per garantire una base di continuità del servizio elettrico, e in parte da fonte rinnovabile. La tipica configurazione di un sistema ibrido è la seguente:

- una o più unità di generazione a fonte rinnovabile: eolico, fotovoltaico, idroelettrico;
- una o più unità di generazione convenzionale: diesel;
- sistema di accumulo di tipo meccanico, elettrochimico o idraulico;
- sistemi di condizionamento della potenza: inverter, raddrizzatori, regolatori di carica;
- sistema di regolazione e controllo.

Attualmente la tendenza è quella di progettare sistemi ibridi nei quali le fonti rinnovabili e l'accumulo forniscano fino all'80-90% dei fabbisogni energetici, lasciando al diesel o all'allaccio alla rete solo la funzione di soccorso.

I sistemi ibridi rappresentano attualmente una valida soluzione alle esigenze di energia elettrica in aree remote o comunque non elettrificate.

Nel passato, infatti, venivano utilizzati esclusivamente generatori diesel, che, in modalità operativa di basso carico, mostrano ridotta efficienza nel funzionamento, alti oneri di manutenzione, breve vita dell'impianto.

I sistemi ibridi consentono di ridurre le problematiche suddette e di sfruttare le risorse rinnovabili esistenti sul territorio, costituendo una concreta opzione, ambientalmente e socialmente compatibile.

Applicazioni dei sistemi ibridi sono:

- sistemi per utenze o comunità isolate; si tratta di sistemi fino ad un massimo di 100 kW di potenza
- sistemi ibridi da retrofit; si tratta di sistemi rinnovabili installati su reti locali in media tensione, fino alla potenza di qualche MW, finalizzati a ridurre le ore di funzionamento dei generatori diesel esistenti, risparmiando combustibile e riducendo le emissioni inquinanti.

I sistemi accoppiati completamente rinnovabili uniscono le tecnologie fotovoltaica, eolica e idroelettrica. Date le caratteristiche di intermittenza delle fonti utilizzate si tratta di sistemi inseribili in applicazioni "grid-connected".

In talune situazioni, si possono installare sistemi ibridi completamente rinnovabili, che permettono l'autosufficienza dalla rete elettrica. Questi sistemi accoppiano una fonte continua, per coprire il fabbisogno energetico di base (biomasse e/o geotermia), ad una o più fonti intermittenti, per coprire i picchi di potenza richiesta (idroelettrico, eolico, solare).

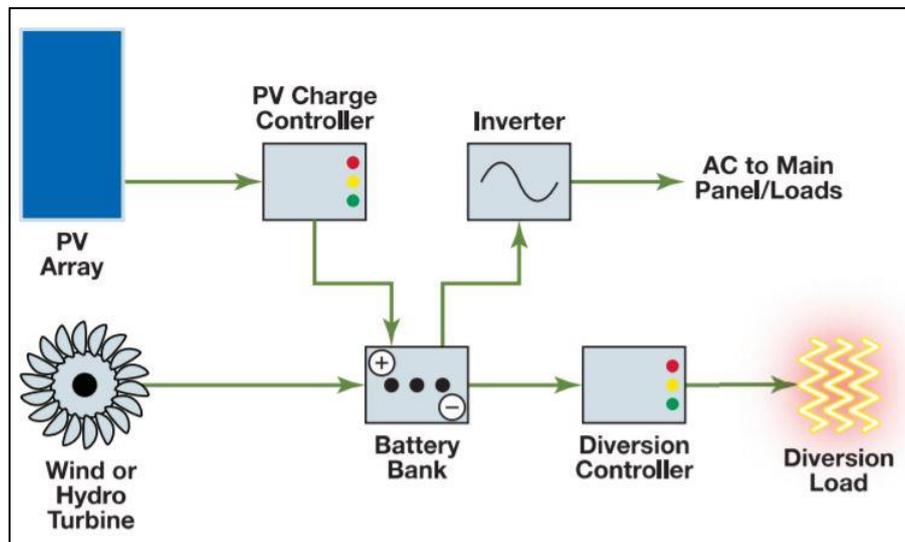


Figura 45 Sistema ibrido (cdn.microhydropower.com)

#### 4.3.1 Net metering

Il net metering è un sistema di scambio con la rete che consente di cedere energia qualora la propria produzione sia in eccesso e di riceverla qualora non sia sufficiente. Il sistema funziona mediante l'utilizzo di contatori reversibili che permettono di utilizzare la rete come un serbatoio dell'energia prodotta in eccesso rispetto agli autoconsumi, così da andare poi a compensare i consumi prelevati dalla rete nei periodi di bisogno. Attualmente applicato al solare, rappresenterebbe un importante strumento di sviluppo anche per le altre fonti rinnovabili, ed in particolare per l'idroelettrico alla luce delle seguenti considerazioni:

- L'energia idroelettrica è una risorsa intermittente: la produzione non è costante nel tempo in quanto soggetta alla variazione del regime idrologico del corso d'acqua. Può accadere che momenti di produzione di energia coincidano con istanti di fabbisogno energetico nullo, come può accadere il contrario; il net metering permetterebbe all'utente di cedere al distributore locale l'elettricità prodotta allo stesso prezzo a cui l'acquista.
- Permette di ridurre i costi, evitando il ricorso a costosi sistemi di accumulo dell'energia.
- Evita all'utente di installare contatori di energia aggiuntivi.

## 5 DEFINIZIONE DELL'ARCHITETTURA OTTIMALE DI UN SISTEMA IBRIDO DI ACCUMULO IDRICO ED ELETTRICO

A partire dalle valutazioni iniziali, sulla base dello schema funzionale relativo al caso studio e dell'analisi di mercato delle diverse componenti che costituiscono il sistema si è proceduto con la definizione dell'architettura ottimale del sistema ibrido di accumulo idrico ed elettrico in oggetto.

Nello specifico, si è cercato di ottimizzare l'uso delle energie da fonti rinnovabili (fotovoltaica e idroelettrica) per alimentare gli impianti di sollevamento a servizio del sistema di adduzione e distribuzione dell'acqua potabile. La definizione di tale sistema ibrido è stata effettuata dalla scala condominiale (sezione 6.1) alla scala più ampia che coinvolge i serbatoi Cozzo Muoio, Cozzo Pirillo e Pasquali, Merone (sezione 6.2). Nella trattazione si fa riferimento alla scala più ampia come macro-scala. Se a livello condominiale è stata investigata la possibilità di tale applicazione, a livello di macro-scala è stata effettuata la definizione dell'architettura ottimale considerando tutte le variabili del macro-sistema (produzione da fotovoltaico e idroelettrico e consumo della pompa). Per poter effettuare tale ottimizzazione è stato necessario, in riferimento al caso studio, procedere con:

- la definizione dell'impianto fotovoltaico e, dunque, la determinazione del profilo di produzione dello stesso;
- la determinazione del profilo di produzione dall'impianto idroelettrico, considerando le portate reali (descritte in 3.1.2) dal serbatoio Cozzo Muoio al serbatoio Merone, a seguito della scelta della turbina tra quelle analizzate in 5.5.5;
- la determinazione del profilo di consumo, considerando diverse pompe.

La scelta definitiva della pompa è frutto dell'ottimizzazione dell'intero sistema.

### 5.1 Sistema di accumulo ibrido idrico-elettrico a livello condominiale

Al fine di poter analizzare l'applicabilità di un sistema ibrido-idrico elettrico a scala condominiale è stato considerato un caso studio ipotetico di un condominio costituito da 30 appartamenti (4 persone per unità abitativa) per un totale di 120 condomini. Si ipotizza che il condominio sia di 6 piani (5 appartamenti per piano). Definito il caso studio si è proceduto con:

- la definizione del profilo di portata
- la determinazione del profilo di produzione da sistema pico-idroelettrico
- la valutazione del profilo di carico della pompa.

#### 5.1.1 Definizione del profilo di portata

Per la definizione del profilo di portata, in mancanza di dati misurati, è stata effettuata un'analisi bibliografica, riscontrando la difficoltà nel reperimento di studi recenti con pattern giornalieri definiti.

Pertanto, si è ritenuto opportuno considerare i diagrammi di consumo di letteratura riportati in Tabella 5 per tre centri abitati.

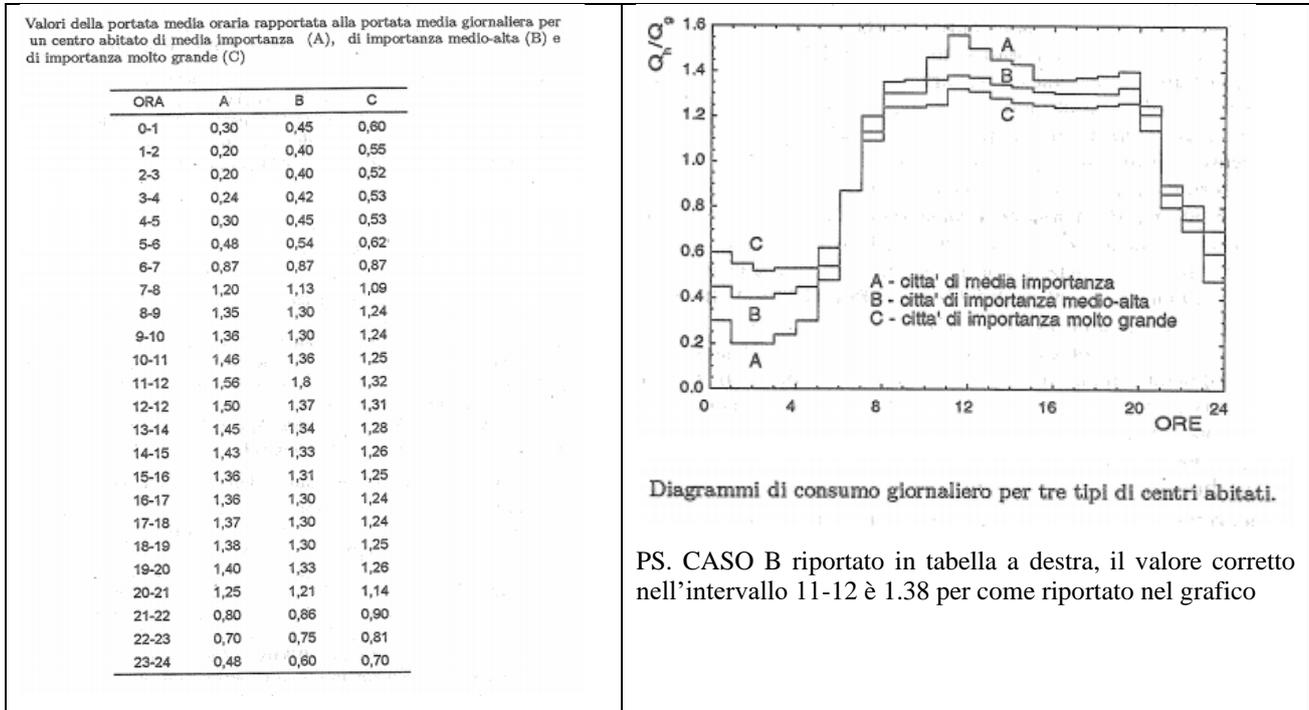


Tabella 5 Pattern orari di letteratura

A partire dal presente pattern di letteratura e considerando un fabbisogno idrico per usi indoor degli abitanti dell'edificio pari a 150 litri a persona al giorno per come riportato nel Protocollo Itaca Regione Calabria per Edifici Residenziali (che richiama quanto contenuto nel DPCM del 4/3/1996), è stato possibile definire l'andamento giornaliero del profilo di portata relativo al caso studio, ottenendo il grafico riportato in figura 46.

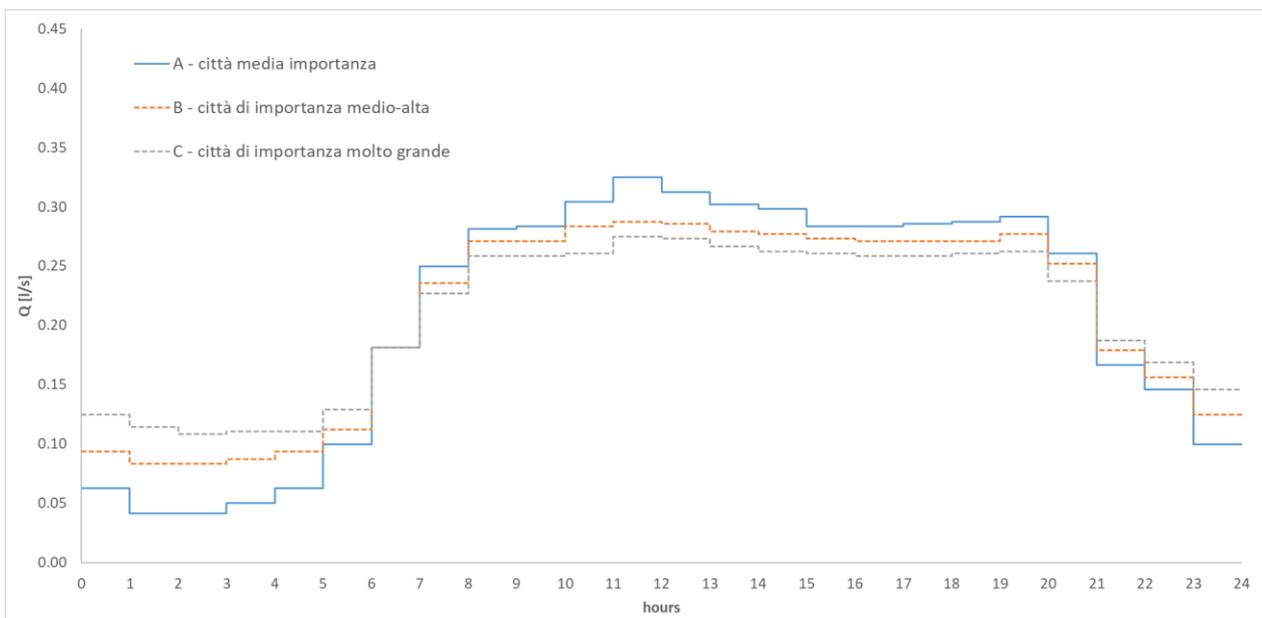


Figura 46 Profilo tipico di portata per tre differenti centri abitati

I tre differenti profili fanno riferimento a tre differenti pattern di letteratura rispettivamente per città di media importanza (50 000 - 200 000 ab), città di importanza medio-alta (200 000 - 500 000 ab) e città di importanza molto grande (> 1 000 000 ab).

Nel presente studio, ipotizzando un condominio nella città di Cosenza, si è focalizzata l'attenzione sul profilo tipico di portata relativo al caso A (città di media importanza). Tale profilo per come precedentemente definito, in mancanza di dati misurati per la città specifica, è stato calcolato sulla base di alcune assunzioni su pattern e portata media (assunta uguale a quella media annua).

Pertanto, l'andamento orario della portata prelevata dalla rete nell'arco della giornata è quello riportato di seguito.

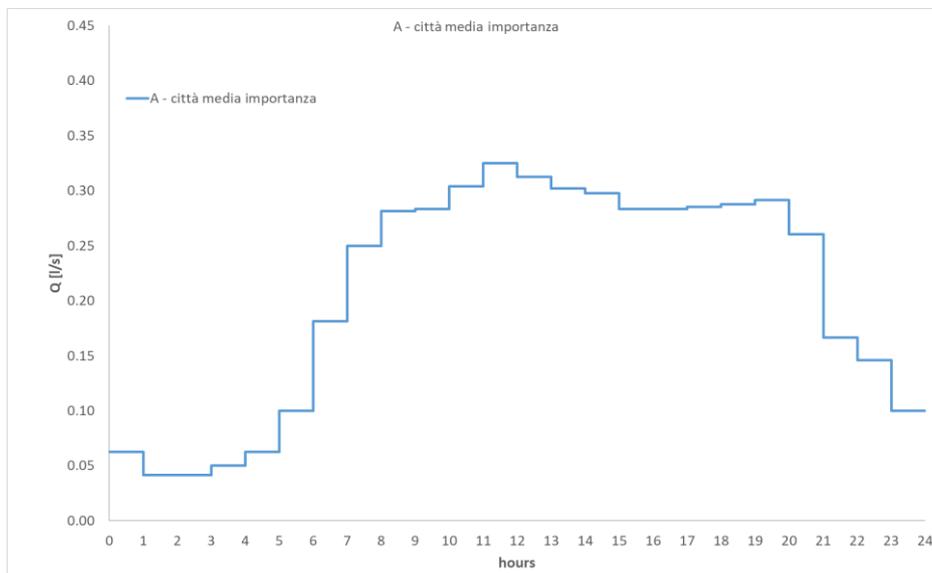


Figura 47 Profilo tipico di portata per il caso studio

### 5.1.2 Definizione del profilo di generazione

Per la definizione del profilo tipico di generazione, a partire dall'analisi dei sistemi pico-idroelettrici presenti sul mercato si è focalizzata l'attenzione sulla possibilità di implementazione del sistema "Water Baby" Micro Hydro (<https://www.rpc.com.au/pdf/HYD-062-Manual.pdf>) che presenta le prestazioni di seguito riportate.

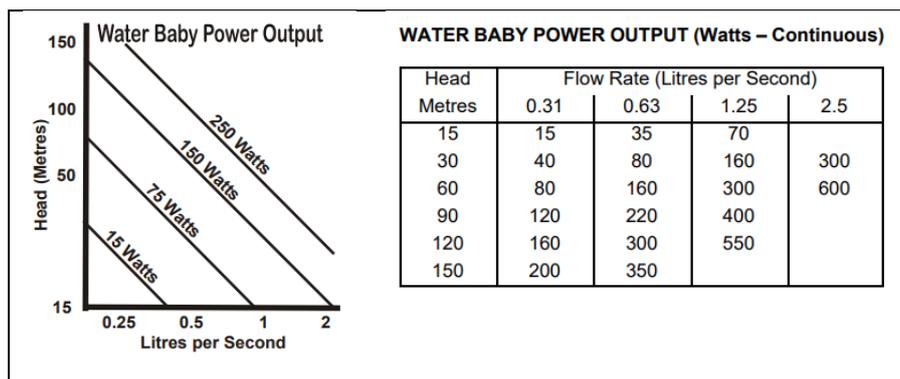


Figura 48 Prestazioni "Water Baby" (www.rpc.com.au)

Prima di procedere alla definizione del profilo di generazione, sono stati considerati differenti scenari.

**SCENARIO 1:** produzione di energia da pico-idroelettrico durante l’arco della giornata in funzione del prelievo di acqua dalla rete pubblica e, dunque, del pattern di portata giornaliero (medio) definito in precedenza. Sulla base, dunque, del profilo di portata medio e di ipotesi sul carico da abbattere sono stati ottenuti differenti profili di generazione.

Nello specifico, considerando che per un edificio di 6 piani come quello ipotizzato, sarà necessaria una pressione di circa 30 m c.a. per servire tutte le utenze sino a quelle localizzate nel punto idraulicamente più sfavorito, e che la pressione nell’acquedotto è variabile, sono stati ipotizzati differenti casi di carico totale e, dunque, di carico netto utile a generare energia.

Considerando, inoltre, che il maggior prelievo avvenga durante le ore diurne, quando vi è maggiore variazione di pressione nella rete, sono stati assunti in via cautelativa diverse ipotesi di carico netto (15, 20, 25 e 30 m c.a.). Si precisa che nei presenti calcoli, inoltre, in assenza di dati reali, si è necessariamente dovuto procedere con l’ipotesi semplificativa di carico netto costante durante tutto l’arco della giornata. Sulla base di tali ipotesi e dell’andamento giornaliero della portata sono stati ottenuti i profili di generazione riportati in Figura 49.

Considerando tutti i valori riportati in figura 49, sono state ricavate le cumulate delle potenze generate dalla turbina nelle 24 ore riportate in Fig. 50., ottenendo valori di produzione totale di 322.6 Wh (per H = 15 m), 430.1 Wh (per H = 20 m), 537.6 Wh (per H = 25 m) e 645.2 Wh (per H = 30 m).

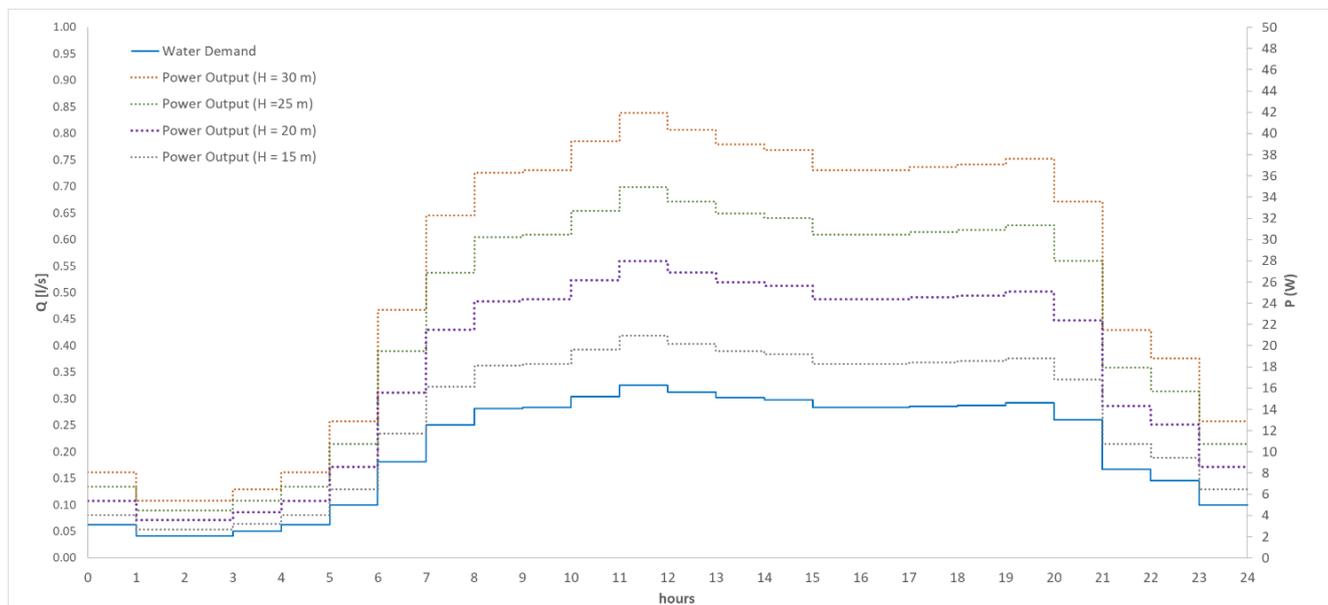


Figura 49 Profili di generazione per H pari a 15, 20, 25 e 30 m e profilo tipico di portata

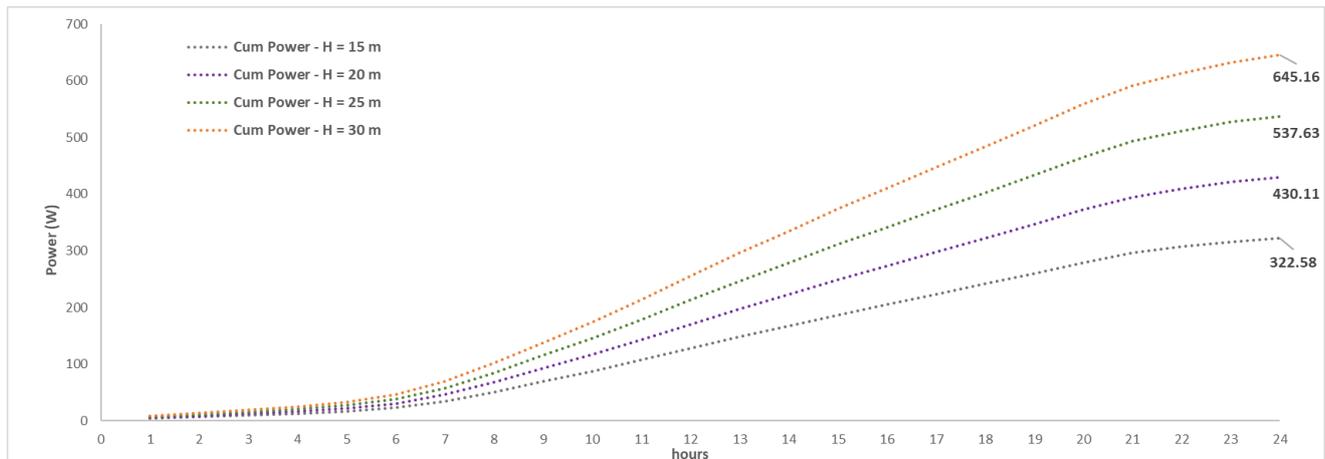


Figura 50 Cumulata giornaliera della potenza generata dal pico-idroelettrico nel caso di scenario 1 per H pari a 15, 20, 25 e 30 m

**SCENARIO 2:** Nell’ottica di un condominio che possa essere il più autonomo possibile, si considera che il condominio sia servito durante tutto l’arco della giornata dalla riserva d’acqua stoccata in un serbatoio di accumulo e mandata in circolo mediante un impianto di pressurizzazione. In tal caso, il pico-idroelettrico si azionerà solo durante le fasi di riempimento del serbatoio, che dovranno avvenire possibilmente durante la notte quando le pressioni nella rete acquedottistica risultano maggiori.

In tale scenario, si è ipotizzato che il serbatoio di stoccaggio, il cui volume è stato ricavato in precedenza considerando la portata media annua (18000 litri), vada riempito una volta al giorno, presupponendo, pertanto che lo stesso, in condizioni medie ideali, si svuoti ciclicamente ogni giorno.

Per procedere con l’analisi di questo scenario, in una fase preliminare è stata, dunque, condotta una valutazione sulla possibile produzione di energia elettrica da pico-idroelettrico durante il periodo di riempimento del serbatoio (fissato pari a 2 e 4 ore). Presupponendo un riempimento del serbatoio durante le ore notturne, quando il prelievo idrico da parte dei residenti è minimo se non nullo, e, dunque, vi sono maggiori pressioni nella rete, si è ipotizzato di avere un carico netto costante da sfruttare per la produzione di energia di almeno pari a 30 mca.

Si precisa che, anche in questo caso, in base alle assunzioni fatte, considerando una portata costante in ingresso pari a 1.25 l/s e 2.5 l/s, i valori di produzione ottenuti e riportati nelle Tabelle 6 e 7 sono quelli totali per le ore di funzionamento.

Per la produzione di energia è stata considerato come nel caso precedente l’abaco della turbina “Water Baby” (Figura 48).

<b>H cost = 30 m</b>						
<b>Ore riempimento</b>	<b>Ab</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>P (W) in 1 ora</b>	<b>P tot (Wh)</b>
2	120	18000	<b>30</b>	2.5	300	<b>600.0</b>
4	120	18000	<b>30</b>	1.25	160	<b>640.0</b>

*Tabella 6 Potenza generata dal pico-idroelettrico nello SCENARIO 2 considerando un carico pari a 30 m*

<b>H cost = 40 m</b>						
<b>Ore riempimento</b>	<b>Ab</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>P W in 1 ora</b>	<b>P tot (Wh)</b>
2	120	18000	<b>40</b>	2.5	400.0	<b>800.0</b>
4	120	18000	<b>40</b>	1.25	208.3	<b>833.3</b>

*Tabella 7 Potenza generata dal pico-idroelettrico nello SCENARIO 2 considerando un carico pari a 40 m*

### 5.1.3 Definizione del profilo di carico

Per procedere alla definizione del profilo di carico, è stato inizialmente necessario definire l'impianto di pressurizzazione che consente la distribuzione dell'acqua (stoccata nel serbatoio definito nella sezione precedente) alle utenze condominiali.

La scelta dell'elettropompa a servizio dell'impianto è stata effettuata sulla base dei calcoli effettuati sulla portata di progetto G e sulla prevalenza H.

Nel caso in esame si presuppone che il sistema di sopraelevazione sia quello tradizionale con autoclave a cuscino d'aria, composto da: serbatoio autoclave, elettropompa, pressostato di esercizio, dispositivo di blocco, sistema di immissione dell'aria.

#### Determinazione portata di progetto G

Per procedere con la definizione della portata di progetto G, è stato considerato, analogamente a quanto fatto in precedenza per la definizione del profilo medio giornaliero di portata, un fabbisogno idrico indoor per persona di 150 l al giorno (come da Protocollo ITACA della Regione Calabria per edifici residenziali). A partire da tale dato sono stati ottenuti:

- un consumo medio giornaliero nel mese di massimo consumo pari a 180 litri;
- un consumo massimo giornaliero nello stesso mese di 216 litri;
- consumo massimo orario nell'ora di punta (dalle 11 alle 12), ipotizzato superiore di circa il 50% del valore precedente, pari a 13.5 l/h;
- un consumo massimo di acqua durante il periodo di intervento della pompa pari a 1.125 l/min, ottenuto ipotizzando un periodo di funzionamento della pompa di 10 volte in 1 ora e ipotizzando che, per appartamenti a uso abitazione il consumo massimo assoluto nei 6 minuti di punta sia circa 5 volte superiore al consumo massimo orario nell'ora di punta.

Sulla base di tali dati e considerando il numero di abitanti, la portata di progetto G è risultata pari a 135 l/min.

### Prevalenza H

La pressione minima di esercizio richiesta per il gruppo di sollevamento è data dalla somma dell'altezza massima dell'edificio (m); della pressione minima necessaria per il regolare funzionamento delle utenze più sfavorite e delle perdite di carico totali nel tratto di distribuzione più sfavorito.

Nel caso in esame, considerando un edificio di 6 piani, e, in mancanza di dati specifici sugli apparecchi sanitari, si è proceduto mediante ipotesi plausibili sulle perdite di carico e sulla localizzazione degli apparecchi sanitari, considerando una pressione minima di esercizio pari a circa 30 mca.

### Determinazione del volume dell'autoclave

L'impianto autoclave ipotizzato è essenzialmente costituito da un serbatoio chiuso, all'interno del quale una parte di volume viene occupata dall'acqua e la rimanente parte da aria, che deve essere periodicamente immessa da un compressore o da un alimentatore d'aria. La pompa, facendo affluire l'acqua all'interno del serbatoio, comprime verso l'alto il cuscino d'aria chiuso finché non viene raggiunta la pressione massima di esercizio voluta, che determinerà l'intervento del pressostato di blocco della pompa. Prelevando acqua dal serbatoio di stoccaggio (18000 l), definito in precedenza si avrà un abbassamento del livello nell'autoclave e la conseguente espansione dell'aria compressa, fintantoché, raggiunta la pressione minima impostata il pressostato chiuderà il circuito e farà ripartire la pompa.

Il dimensionamento dell'impianto è stato, pertanto, focalizzato sulla definizione della capacità utile dell'autoclave (V), per la cui stima è stata considerata la seguente relazione:

$$V = 30 \cdot \frac{G \cdot 60}{a} \cdot \left( \frac{P_{max} + 1}{P_{max} - P_{min}} \right)$$

dove:

- V = volume dell'autoclave (l)
- G = portata di progetto (l/s) = 135 l/min = 2.25 l/s
- a = numero massimo orario degli avviamenti della pompa pari a 30 (manuale Caleffi n.55 del 12.2018 'La pressione di distribuzione nelle reti di acqua sanitaria')
- P<sub>max</sub>= pressione massima di sopraelevazione, corrisponde alla pressione di disinserimento della pompa per non danneggiare gli apparecchi servizi= 45 mca;
- P<sub>min</sub>= pressione minima di sopraelevazione per il regolare funzionamento degli apparecchi = 30 mca

Per il caso studio è stato ottenuto un volume netto dell'autoclave pari a 495 l.

### Scelta dell'elettropompa

Definiti portata di progetto (G) e prevalenza (H) è stato possibile procedere con la scelta dell'elettropompa.

A seguito di un'analisi di mercato, si è optato per la scelta in questa fase di una pompa appartenente alla DAB WATER TECHNOLOGY.

Nello specifico, con riferimento alla 'Guida rapida per la selezione delle pompe' della DAB Water Technology e considerando i dati di progetto:

- portata di progetto  $G = 135 \text{ l/min}$
- prevalenza  $H = 30 \text{ m}$

possono essere scelte pompe con portate tra 0.4 a 10.5 m<sup>3</sup>/h e prevalenza massima di 62 m. Le tipologie utilizzabili sono Pompa JET; Pompa JETINOX; Pompa JETCO riportate nella figura seguente.



Figura 51 Pompa JET, Pompa JETINOX, Pompa JETCO - DAB WATER TECHNOLOGY

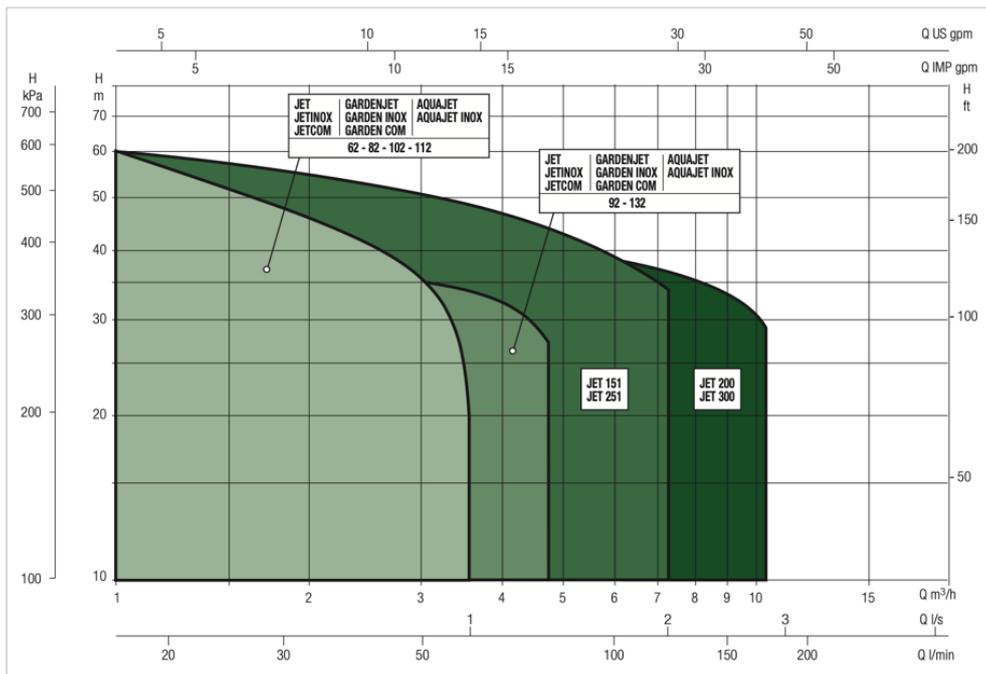


Figura 52 Curve caratteristiche delle Pompe JET, JETINOX, JETCO - DAB WATER TECHNOLOGY

Dal grafico fornito dalla casa costruttrice riportato in Figura 52, entrando col valore della portata di progetto G (135 l/min) e della prevalenza H (30 m) per il caso studio specifico, si ricade nella zona delle pompe JET 200 o JET 300, di cui si riportano di seguito le schede tecniche.



JET 151-251

JET 200-300

## JET 151-251-200-300

### ELETTROPOMPE CENTRIFUGHE AUTOADESCANTI

**DATI TECNICI**

**Campo di funzionamento:**  
da 0,4 a 10,5 m<sup>3</sup>/h con prevalenza fino a 62 metri.

**Liquido pompato:** pulito, libero da sostanze solide o abrasive, non viscoso, non aggressivo, non cristallizzato e chimicamente neutro.

**Campo di temperatura del liquido:**  
da 0 °C a +35°C uso domestico (EN 60335-2-41)  
da 0 °C a +40°C per altri impieghi.

**Massima temperatura ambiente:** +40°C

**Massima pressione di esercizio:** 8 bar (800 kPa)

**Installazione:** fissa in posizione orizzontale.

**Esecuzioni speciali a richiesta:** altre frequenze e/o tensioni.

**Grado di protezione del motore:** IP 44

**Grado di protezione alla morsettiera:** IP 55

**Classe di isolamento:** F

**Tensioni di serie:** monofase 220/240 V / 50 Hz  
trifase 230/400 V / 50 Hz

POMPE AUTOADESCANTI E CENTRIFUGHE MULTISTADIO

#### APPLICAZIONI

Pompa centrifuga autoadescante con ottime capacità di aspirazione anche in presenza di bolle d'aria.  
Idonea all'utilizzo con acqua con piccole impurità sabbiose.  
Particolarmente impiegata per alimentazione idrica in impianti domestici.  
Adatta per la piccola agricoltura e giardinaggio, servizi industriali di entità limitata e dove è necessaria la funzione di autoadescamento.

#### CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DELLA POMPA

Corpo pompa e supporto motore in ghisa.  
Girante, diffusore, tubo venturi e parasabbia in tecnopolimero.  
Doppia girante per la versione JET 151 e 251.  
Anelli di rasamento in acciaio inossidabile.  
Tenuta meccanica in carbone/ceramica.

#### CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DEL MOTORE

Di tipo asincrono, chiuso, raffreddato a ventilazione esterna.  
Rotore montato su cuscinetti a sfera ingrassati a vita e sovradimensionati per garantire silenziosità e durata.  
Protezione termo-amperometrica incorporata e condensatore permanentemente inserito nella versione monofase.  
Per la protezione del motore trifase è raccomandabile l'uso di un telesalvomotore in accordo alle norme vigenti.  
Costruzione secondo normative CEI 2-3 / CEI 61-69 (EN 60335-2-41).

Figura 53 Scheda tecnica (parte 1)

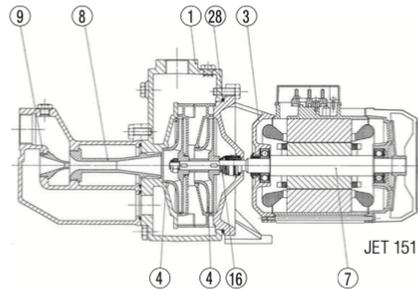
## JET 151-251-200-300

### ELETTROPOMPE CENTRIFUGHE AUTODESCANTI

#### MATERIALI

N°	PARTICOLARI*	MATERIALI
1	CORPO POMPA	GHISA G.JL 200 UNI EN 1561
3	SUPPORTO	GHISA G.JL 200 UNI EN 1561
4	GIRANTE	PPO-GF 20 (Noryl™)
7	ALBERO CON ROTORE	ACCIAIO INOX AISI 303 X8CrNiS18-9 UNI EN 10088 (UNI 6900: 71)
8-9	GRUPPO UGELLO DIFFUSORE VENTURI	PPO-GF 20 (Noryl™)
16	TENUTA MECCANICA	CARBONE/CERAMICA
28	GUARNIZIONE OR	GOMMA NBR

\* A contatto con il liquido



#### MATERIALI

N°	PARTICOLARI*	MATERIALI
1	CORPO POMPA	GHISA G.JL 200 UNI EN 1561
3	SUPPORTO	GHISA G.JL 200 UNI EN 1561
4	GIRANTE	PPO-GF 20 (Noryl™)
7	ALBERO CON ROTORE	ACCIAIO INOX AISI 303 X8CrNiS18-9 UNI EN 10088 (UNI 6900: 71)
8-9	GRUPPO UGELLO DIFFUSORE VENTURI	PPO-GF 20 (Noryl™)
16	TENUTA MECCANICA	CARBONE/CERAMICA
28	GUARNIZIONE OR	GOMMA NBR

\* A contatto con il liquido

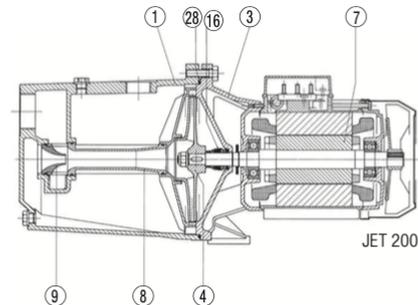


Figura 54 Scheda tecnica (parte 2)

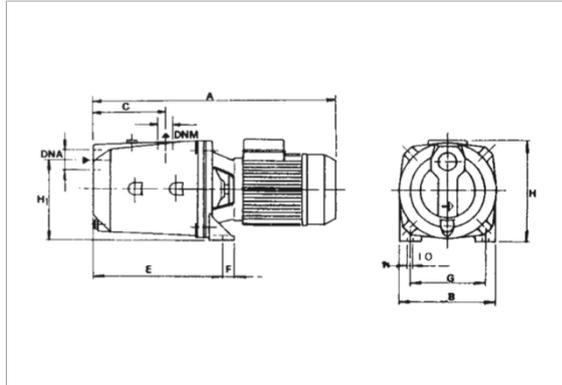
## TABELLA DI SELEZIONE - JET 151-251-200-300

MODELLO	Q=m <sup>3</sup> /h	0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	6	7,2	9	9,6	10,5		
	Q=l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120	150	160	175		
JET 151 M	H (m)	61	58,2	56	53	50	46	43	36								
JET 151 T		61	58,2	56	53	50	46	43	36								
JET 251 M		62	60	58	56	54	51	48,5	46	43,5	39	34,2					
JET 251 T		62	60	58	56	54	51	48,5	46	43,5	39	34,2					
JET 200 M		41			37,5	36,5	35,2	34	33	31,8	29,5	27,2	24	22,8	21,3		
JET 200 T		41			37,5	36,5	35,2	34	33	31,8	29,5	27,2	24	22,8	21,3		
JET 300 M		51			48	47	46	44,5	43	42	40	37	33	32	29		
JET 300 T		51			48	47	46	44,5	43	42	40	37	33	32	29		

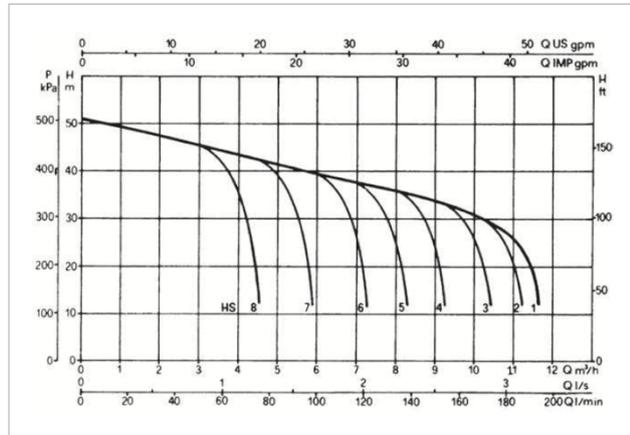
Figura 55 Scheda tecnica (parte 3)

### JET 300 - ELETTROPOMPE CENTRIFUGHE AUTOADESCANTI PER APPROVVIGIONAMENTO IDRICO IN AMBIENTE DOMESTICO

Campo di temperatura del liquido pompato: da 0°C a +35°C - Massima temperatura ambiente: +40°C



Le curve di prestazione sono basate su valori di viscosità cinematica = 1 mm<sup>2</sup>/s e densità pari a 1000 kg/m<sup>3</sup>. Tolleranza delle curve secondo ISO9906.



MODELLO	DATI ELETTRICI						
	ALIMENTAZ. 50 Hz	P1 MAX kW	P2 NOMINALE		In A	CONDENSATORE	
			kW	HP		µF	Vc
JET 300 M	1x220-240 V ~	2,7	2,2	3	12	40	450
JET 300 T	3x230-400 V ~	2,7	2,2	3	8,5-4,9	-	-

MODELLO	A	B	C	E	F	G	I Ø	H	H1	DNA GAS	DNM GAS	DIMENSIONI IMBALLO			VOLUME (mc)	PESO LORDO Kg
												L/A	L/B	H		
JET 300 M	521	214	151	282	20	160	11	235	175	1 1/2"	1 1/4"	612	248	279	0,045	31,5
JET 300 T	595	214	151	282	20	160	11	227	175	1 1/2"	1 1/4"	657	248	279	0,042	30

Figura 56 Scheda tecnica JET 300

Dall'analisi dei dati riportati nella tabella in Figura 56 e considerando i dati di progetto ( $Q = 135$  l/min e  $H = 30$  m), si è optato per la scelta della pompa JET 300 M. La pompa scelta presenta una potenza nominale di 2.2 kW, di cui si terrà conto nei successivi calcoli per la definizione del profilo di carico.

Scelta la pompa è stato possibile procedere con la definizione del profilo di carico determinato, nel caso dello scenario 2, considerando l'utilizzo dell'impianto di pressurizzazione durante tutte le ore della giornata. A tal fine:

- è stato considerato il profilo di portata definito in precedenza.
- sono stati considerati i dati utilizzati per il progetto dell'impianto di pressurizzazione (portata di progetto  $G$  pari a 135 l/min, prevalenza  $H = 30$  m) e la potenza nominale della pompa scelta pari a 2.2 kW
- sono stati determinati i minuti di funzionamento della pompa per ogni ora
- è stata calcolata la potenza oraria della pompa, ottenendo, pertanto, il profilo di carico orario, riportato in Figura 57, nel caso di funzionamento nelle 24 ore.

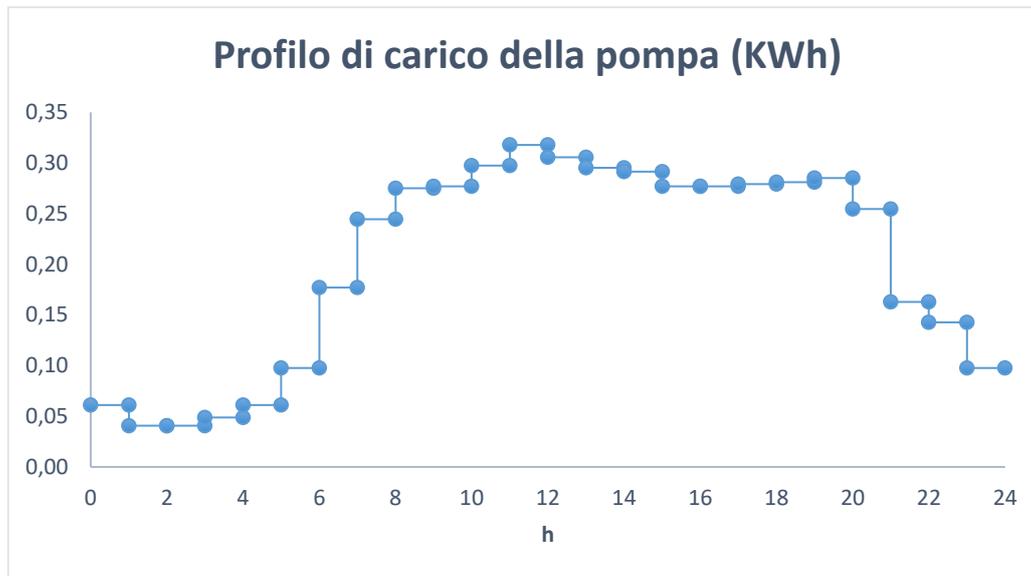


Figura 57 Profilo di carico della pompa nelle 24 ore

Dall'analisi dei risultati ottenuti, si rileva che l'energia prodotta dal pico-idroelettrico durante le sole ore di riempimento del serbatoio da sola non riuscirebbe a sopperire al fabbisogno della pompa nel caso questa venga utilizzata durante l'intera giornata. Essendo, tuttavia, questo impianto parte integrante della nGrid, di cui ne rappresenta un carico elettrico, il fabbisogno energetico dell'impianto della pompa, potrà essere soddisfatto dall'energia elettrica proveniente da altre fonti a FER dello stesso condominio (es. fotovoltaico) o di altri distretti.

## 5.2 Sistema di accumulo ibrido idrico-elettrico a livello di macro-sistema

Questa sezione fa riferimento ai calcoli effettuati per l'individuazione dell'architettura ottimale del macro-sistema definita nello schema funzionale discusso al capitolo 4 e, pertanto, si articola in 4 parti:

- la definizione e la produzione dell'impianto solare fotovoltaico sul tetto del serbatoio Cozzo Muoio
- l'impianto di sollevamento (serbatoi Cozzo Muoio - Mendicino)
- l'impianto idroelettrico, (Cozzo Muoio - Merone)
- l'ottimizzazione dell'intero sistema.

### 5.2.1 L'impianto fotovoltaico sul serbatoio Cozzo Muoio

Il fotovoltaico rappresenta una delle principali risorse nel settore delle energie da fonti rinnovabili. Tra gli svariati impieghi del fotovoltaico quello di sfruttare l'energia prodotta per sollevare l'acqua spingendola da un posto ad un altro è tra i più interessanti. Una stazione tipo di pompaggio a energia fotovoltaica si compone fondamentalmente dei seguenti componenti:

- un sito fotovoltaico opportunamente dimensionato a seconda della potenza necessaria;
- una pompa con motore monofase o trifase;

- un sistema elettronico di potenza in grado di convertire l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici in energia elettrica in modo da azionare la pompa e gestirne il funzionamento.

Il serbatoio Cozzo Muoio, sito a monte della città di Cosenza 39° 17' 36" N - 16° 14' 22" E, presenta un'ampia area di circa 3000 m<sup>2</sup> disponibili all'alloggiamento dell'impianto fotovoltaico.

In particolare, il tetto del serbatoio stesso presenta caratteristiche ottimali per l'installazione dell'impianto fotovoltaico in quanto si tratta di una superficie piana e prima di zone ombreggiate che ben si presta allo scopo in oggetto.

Di seguito è riportata una vista aerea, in cui è possibile apprezzare le ottime caratteristiche di posizione e superficie del sito oggetto di studio.



*Figura 58 Copertura piana per l'istallazione dell'impianto fotovoltaico*

Ogni kWp di fotovoltaico installato richiede uno spazio netto di circa 8 m<sup>2</sup> per moduli a silicio cristallino complanari alle coperture degli edifici; occorre invece uno spazio maggiore per moduli disposti in più file su superfici piane per ridurre gli ombreggiamenti.

In Italia l'esposizione ottimale per moduli fissi è verso Sud con un'inclinazione di circa 30-35 gradi: un impianto fotovoltaico, ottimamente orientato ed inclinato, può produrre in media dai 1000 kWh per kWp installato nell'Italia Settentrionale ai 1500 kWh per kWp installato nell'Italia Meridionale. Un impianto fotovoltaico produce elettricità per 20-25 anni, con poche necessità di manutenzione e una buona resistenza agli agenti atmosferici.

Per la determinazione della producibilità elettrica annuale si considera, dunque, una superficie esposta a sud e inclinata di un angolo pari a circa 30° con area di captazione pari a quella richiesta per una potenza nominale di picco di 1kW. La potenza necessaria alla stazione di sollevamento può essere fornita, in prima approssimazione, da una superficie di circa 2500 m<sup>2</sup>, inferiore rispetto a quella della copertura del serbatoio, pari a 3000 m<sup>2</sup>.

Per effettuare un calcolo più accurato sulla producibilità dell'impianto, è stato necessario uno studio a scala oraria della producibilità dell'impianto a FER.

#### *Radiazione solare globale giornaliera sul piano inclinato*

In prima istanza mediante l'utilizzo del software PVGIS è stato possibile valutare la radiazione solare giornaliera considerando la banca dati 2005-2016. Di seguito si mostrano i dati per i mesi di Gennaio e Agosto.

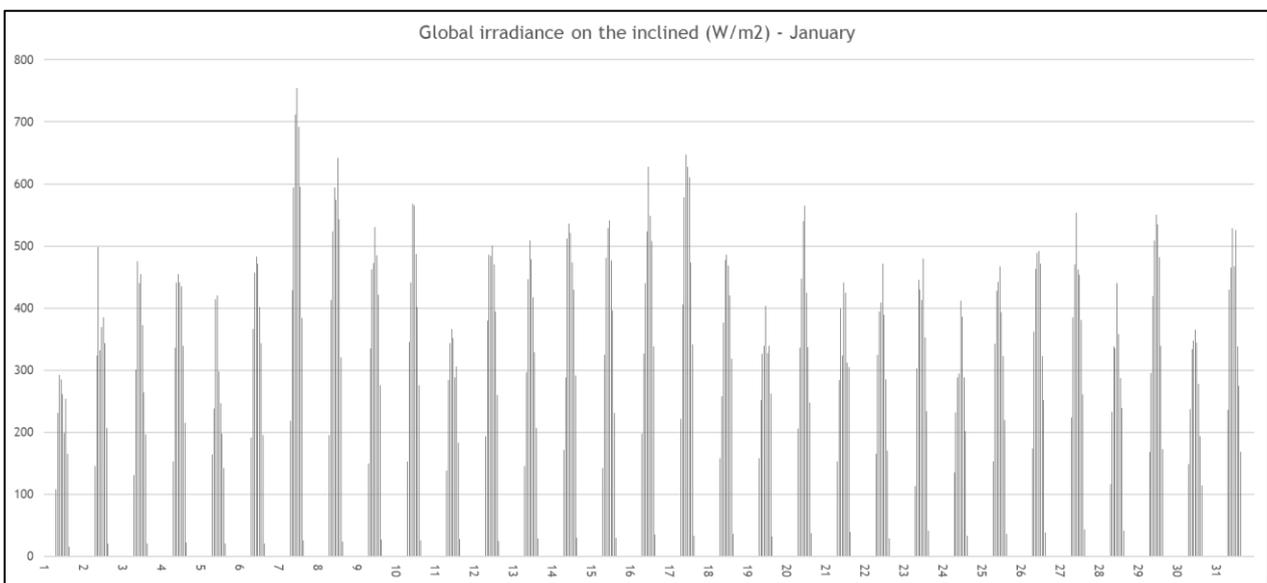


Figura 59 Radiazione globale giornaliera sul piano inclinato (W/m<sup>2</sup>) per il mese di Gennaio

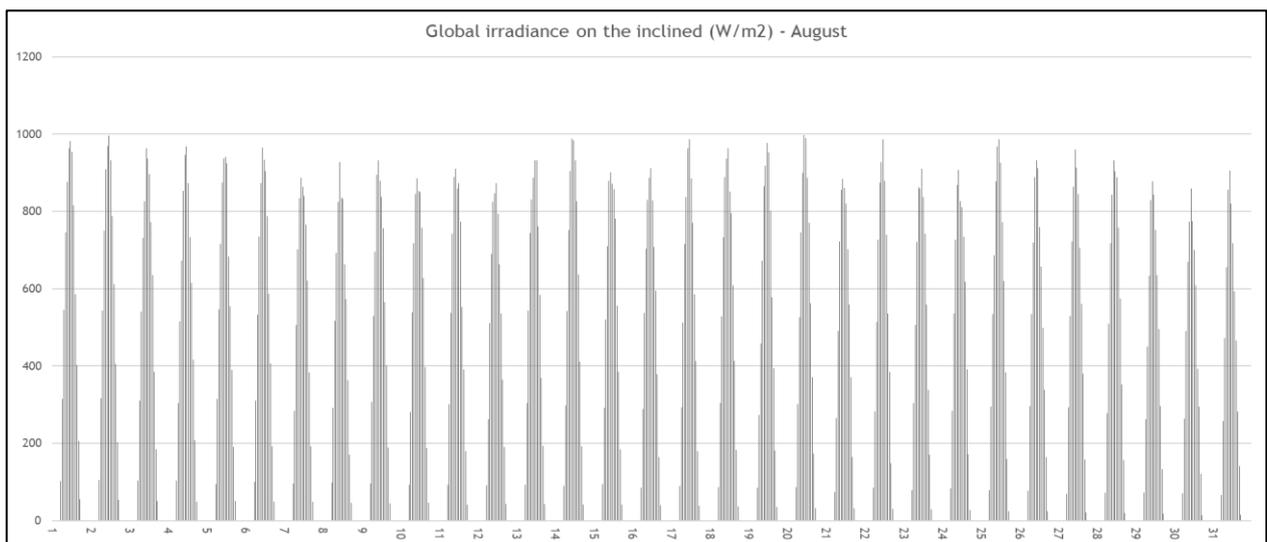


Figura 60 Radiazione globale giornaliera sul piano inclinato (W/m<sup>2</sup>) per il mese di Agosto

Radiazione solare globale mensile media sul piano inclinato ( $W/m^2$ )

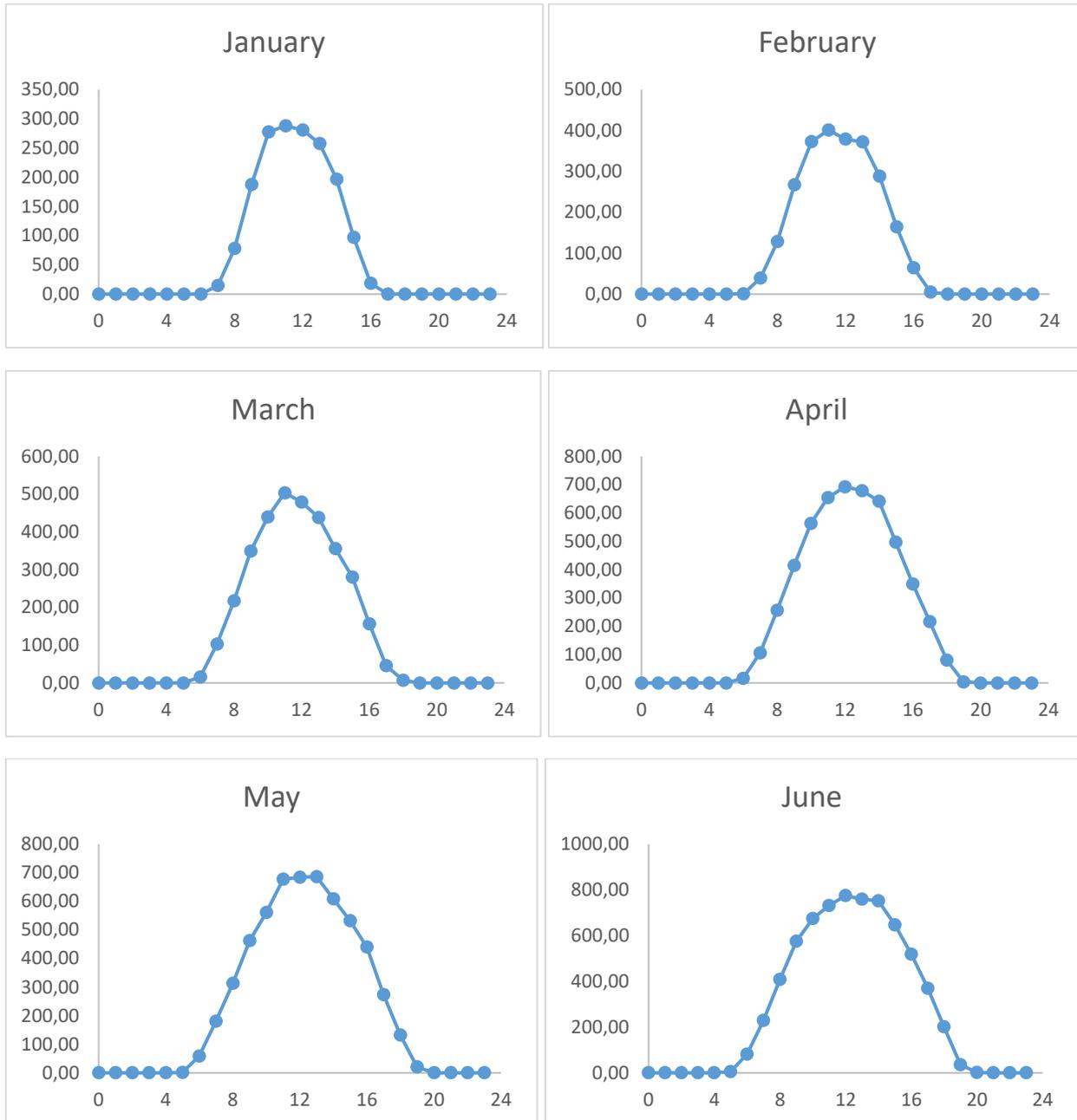


Figura 61 Radiazione globale mensile media sul piano inclinato ( $W/m^2$ ) per i mesi da Gennaio a Giugno

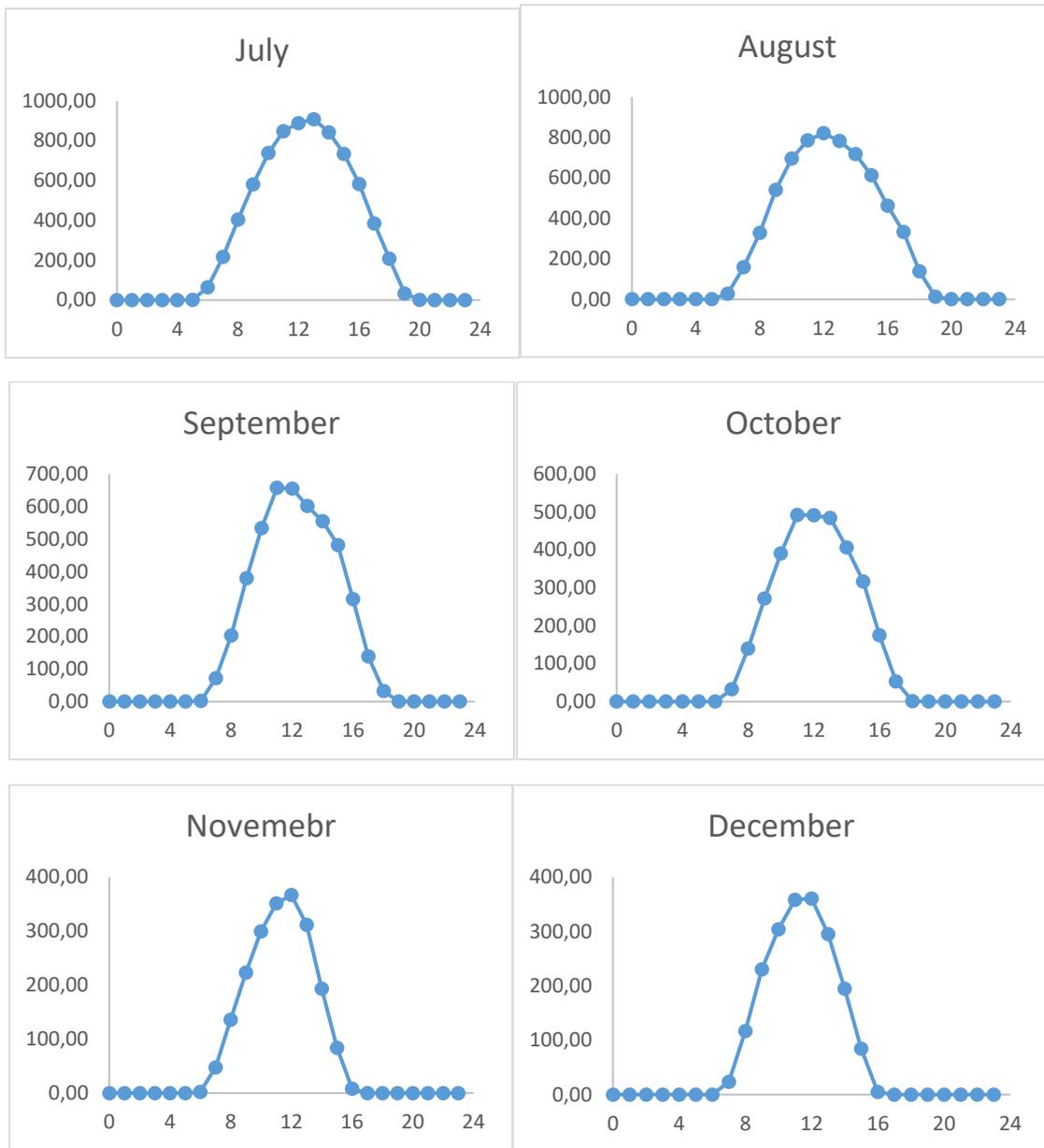


Figura 62 Radiazione globale mensile media sul piano inclinato ( $W/m^2$ ) per i mesi da Luglio a Dicembre

Radiazione solare globale media mensile ( $W/m^2$ )

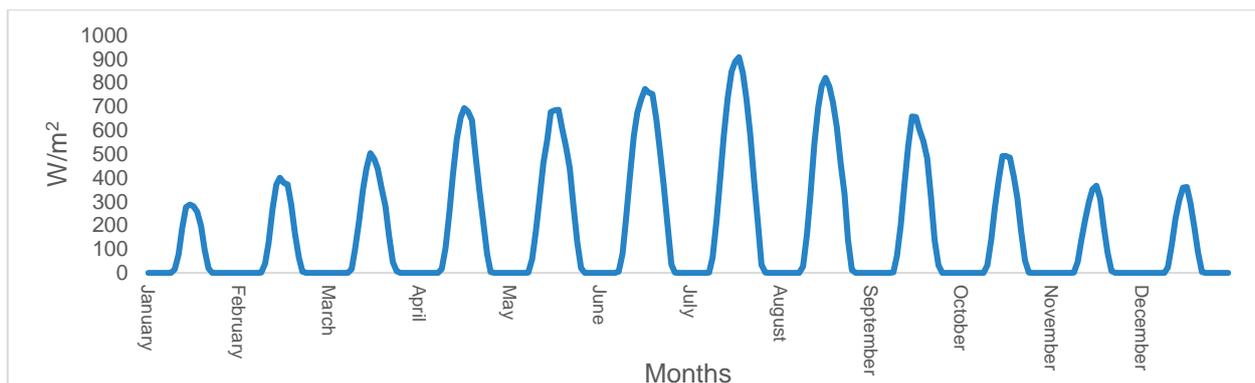


Figura 63 Radiazione solare globale mensile media sul piano inclinato ( $W/m^2$ )

*Progettazione dell'impianto fotovoltaico*

Per la definizione dell'impianto fotovoltaico del caso studio è stato considerato il software PVSOL. Tale software consente di definire la migliore distribuzione dei pannelli fotovoltaici considerando l'ombra fra i pannelli e la distanza di installazione. Sulla base delle informazioni date in input al software è stata ottenuta la configurazione riportata in Figura 64 la cui pendenza d'installazione è di 32 gradi (ottimale) e l'azimut di -5 gradi (ottimale).



**Open Area (Map Section)-Area South**

PV Generator Output	407,43 kWp
PV Generator Surface	2.455,0 m <sup>2</sup>
Global Radiation at the Module	1725,7 kWh/m <sup>2</sup>
PV Generator Energy (AC grid)	543569,6 kWh/Year
Spec. Annual Yield	1334,1 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	77,3 %

*Figura 64 Impianto fotovoltaico sul serbatoio cozzo Muio*

Potenza impianto fotovoltaico

Definito l'impianto è stato possibile calcolare la potenza dell'impianto fotovoltaico per tutti i giorni dell'anno. Nelle figure 65 e 66 si mostrano i dati ottenuti in termini di potenza dell'impianto per tutti i giorni dei mesi di Gennaio e Agosto.

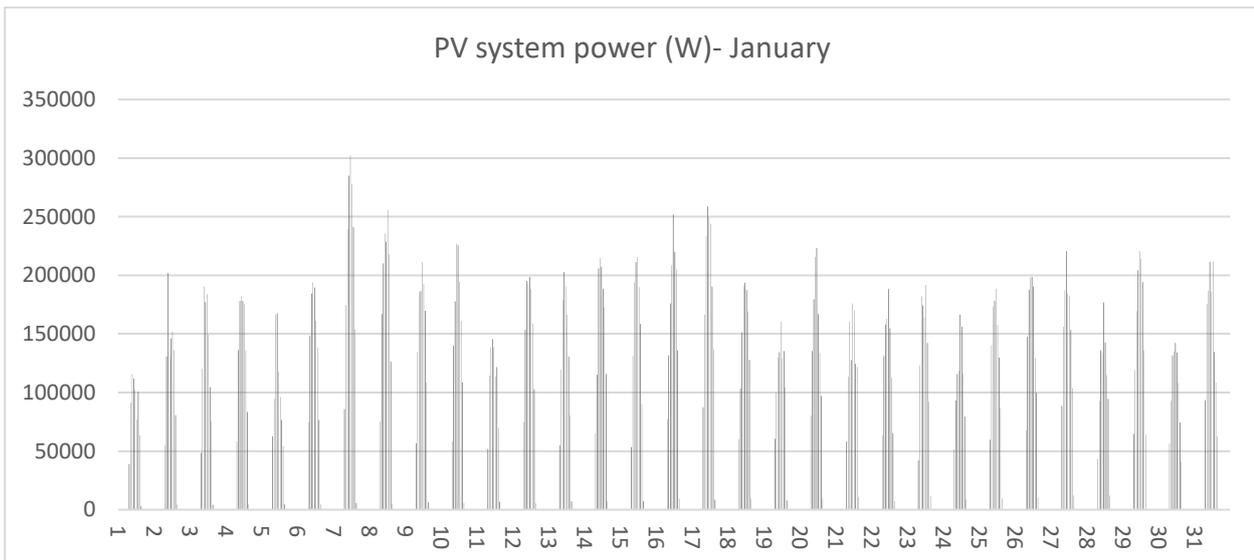


Figura 65 Potenza dell'impianto fotovoltaico sul serbatoio cozzo Muoio per il mese di gennaio

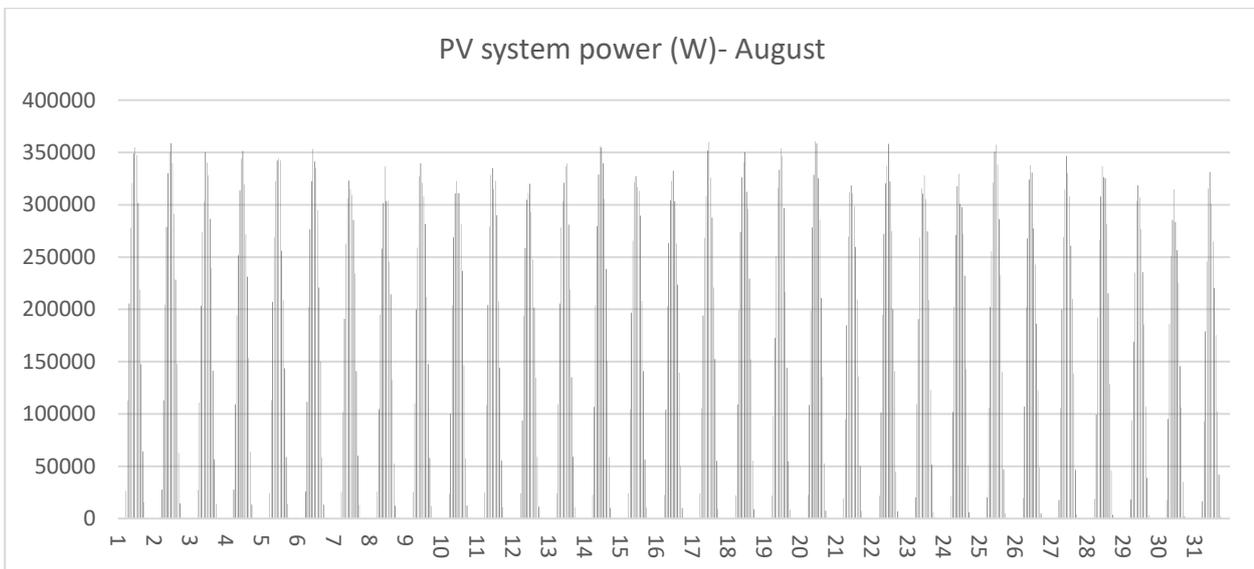


Figura 66 Potenza dell'impianto fotovoltaico sul serbatoio cozzo Muoio per il mese di agosto

*Produzione mensile di elettricità dell'impianto fotovoltaico (kWh/mese)*

Infine, la produzione totale mensile di energia dell'impianto fotovoltaico progettato per l'area di 2455 m<sup>2</sup> in kWh/mese è mostrata nella Figura 67.

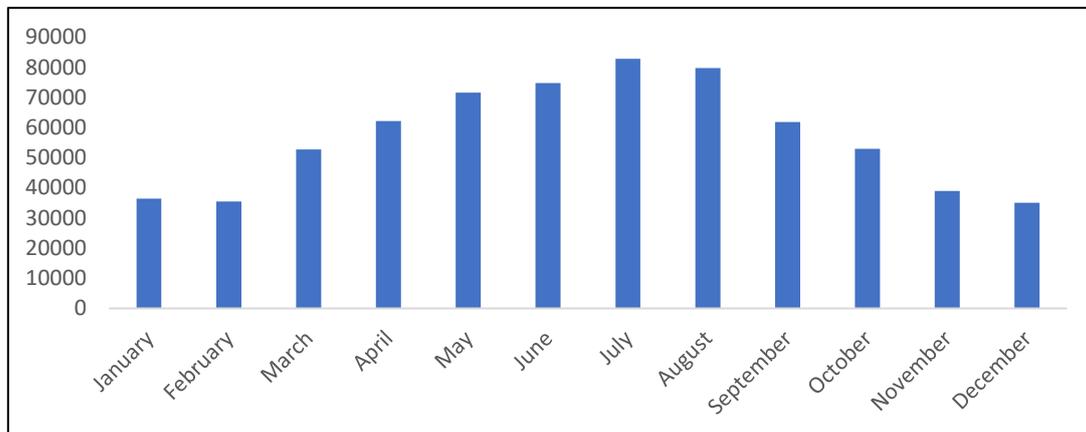


Figura 67 Produzione mensile di elettricità dell'impianto fotovoltaico (kWh/mese)

**5.2.2 Impianto di sollevamento Cozzo Muoio – Serbatoi Mendicino**

Come definito nello schema funzionale, il serbatoio Cozzo Muoio deve servire contrada Pasquali e Pirillo che hanno rispettivamente una popolazione di 4000 e 1000 abitanti ipotizzando l'installazione di un impianto di sollevamento.

Le portate medie mensili erogate da Cozzo Muoio ai serbatoi di Mendicino, forniti dalla SoRiCal, sono quelle riportate nel paragrafo 3.1.2 che mostrano una portata variabile da 30.6 l/s a 37.4 l/s. Si dovranno, pertanto, valutare diverse configurazioni in base alla pompa e la scelta ricadrà sulla soluzione ottimale che consentirà minore consumo di energia elettrica.

Avendo, quindi, un dislivello di 100 metri e un delta di 20 metri (differenza di carico tra il punto a valle della pompa e il serbatoio di arrivo), bisognerà installare un impianto di sollevamento che possa sollevare di 120 metri la portata precedentemente calcolata.

Non essendo corretto progettare con una pompa che lavori di continuo per tutto il tempo, verrà progettato un impianto di sollevamento che lavori per un tempo inferiore alle 24 ore. Bisogna quindi utilizzare una portata superiore a quella del mese con il massimo consumo. Dai dati forniti abbiamo visto che il valore massimo è di 37,4 litri/secondo. Si procede ai calcoli considerando di sollevare le seguenti portate:

- 40 l/s = 144 m<sup>3</sup>/h;
- 50 l/s = 180 m<sup>3</sup>/h;
- 60 l/s = 216 m<sup>3</sup>/h;
- 70 l/s = 252 m<sup>3</sup>/h.

Sulla base di un'indagine di mercato e delle caratteristiche del caso studio sono state selezionate una serie di pompe dell'azienda Rovatti, le cui curve caratteristiche sono mostrate nelle Figure 67, 68, 69 e 70.

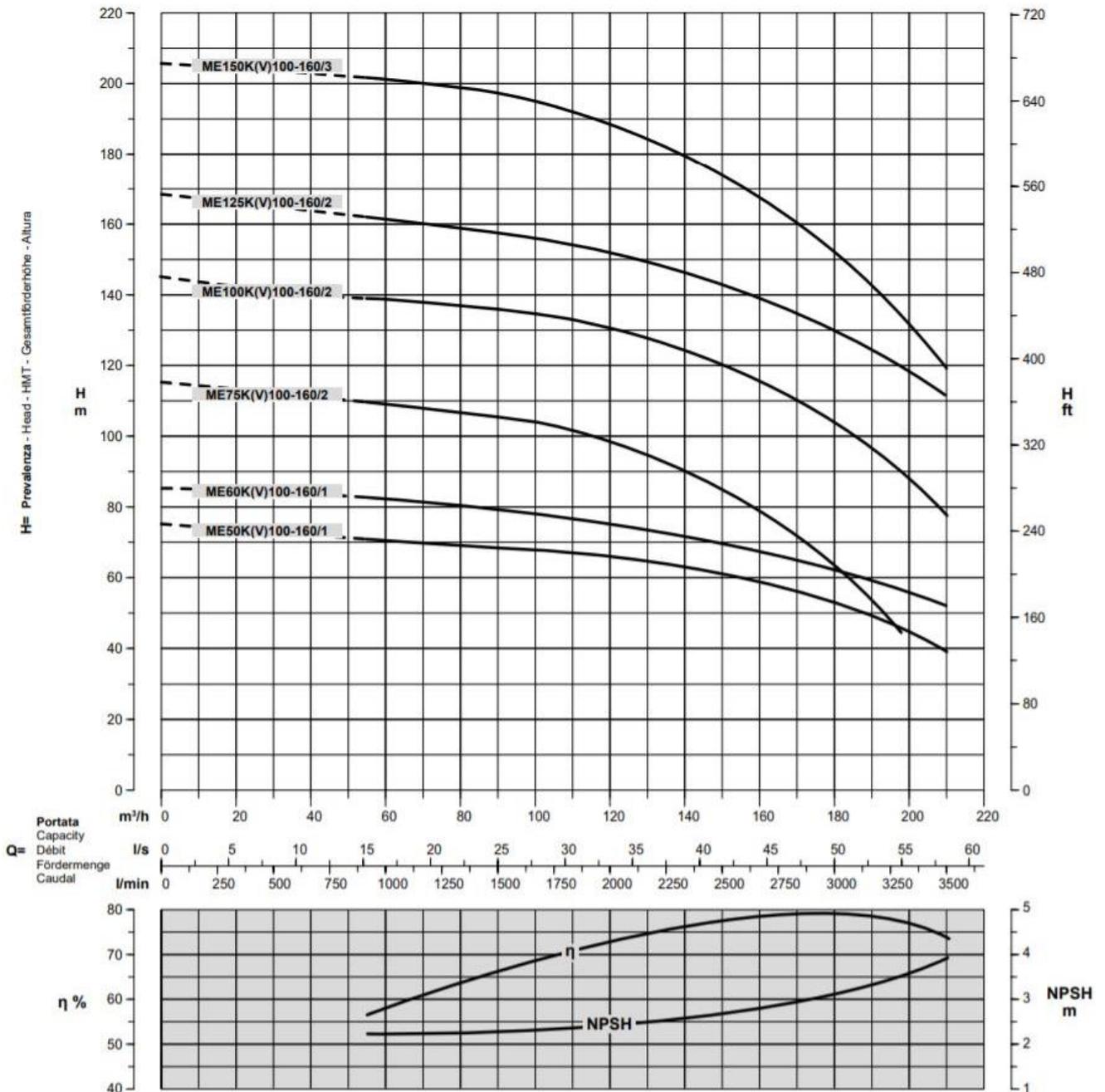


Figura 68 Curva caratteristica per  $Q=144 \text{ m}^3/\text{h}$  ([www.rovatti.it](http://www.rovatti.it))

In base al caso in esame, per la  $Q=144 \text{ m}^3/\text{h}$  è stata scelta la pompa ME100K(V)100-160/2 che presenta una potenza pari a 75 KW e un rendimento del 76 %.

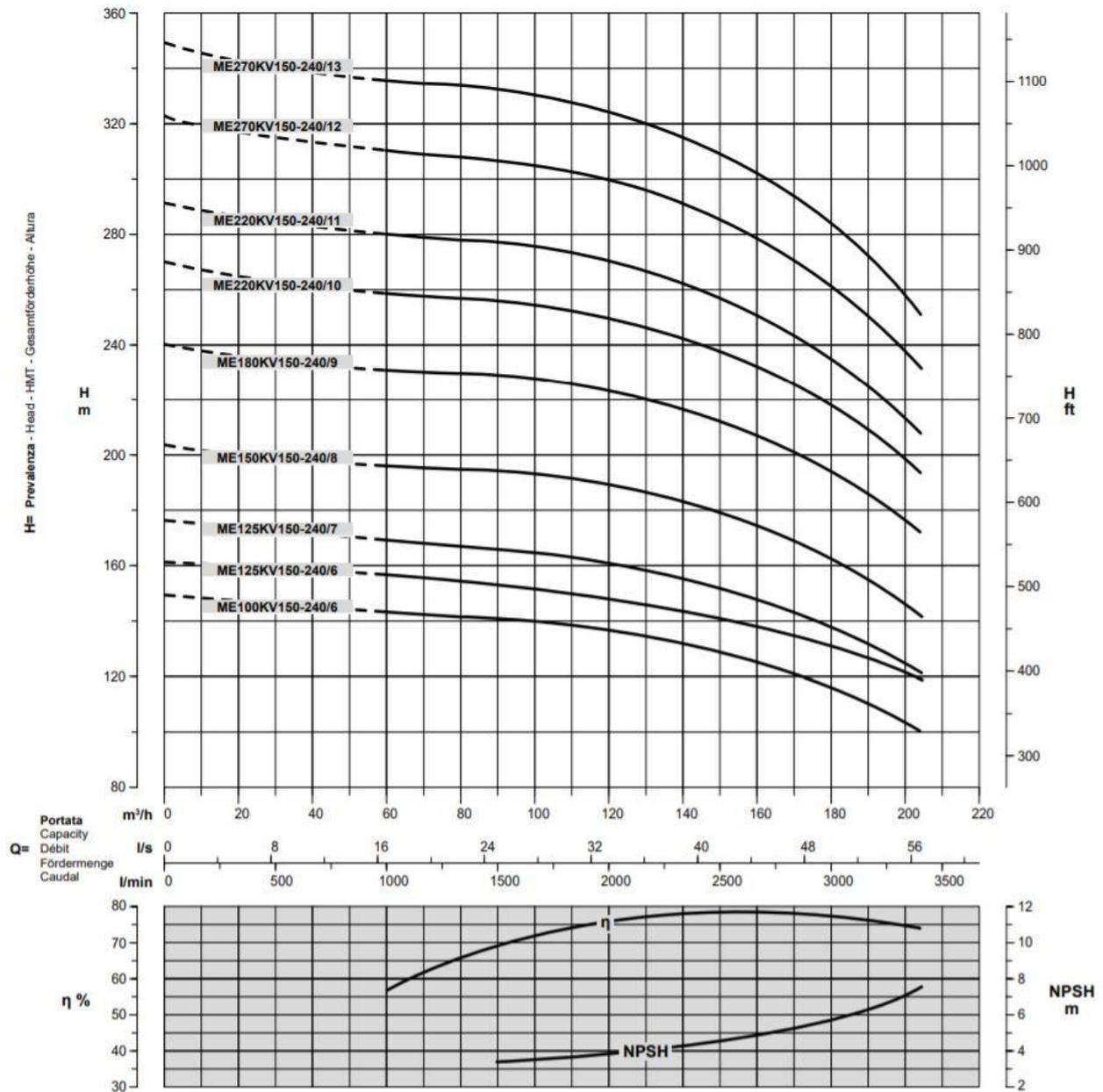


Figura 69 Curva caratteristica per  $Q=180 \text{ m}^3/\text{h}$  ([www.rovatti.it](http://www.rovatti.it))

In base al caso in esame, per la  $Q=180 \text{ m}^3/\text{h}$  è stata scelta la pompa ME100KV150-240/6 che presenta una potenza pari a 75 KW e un rendimento del 79 %.

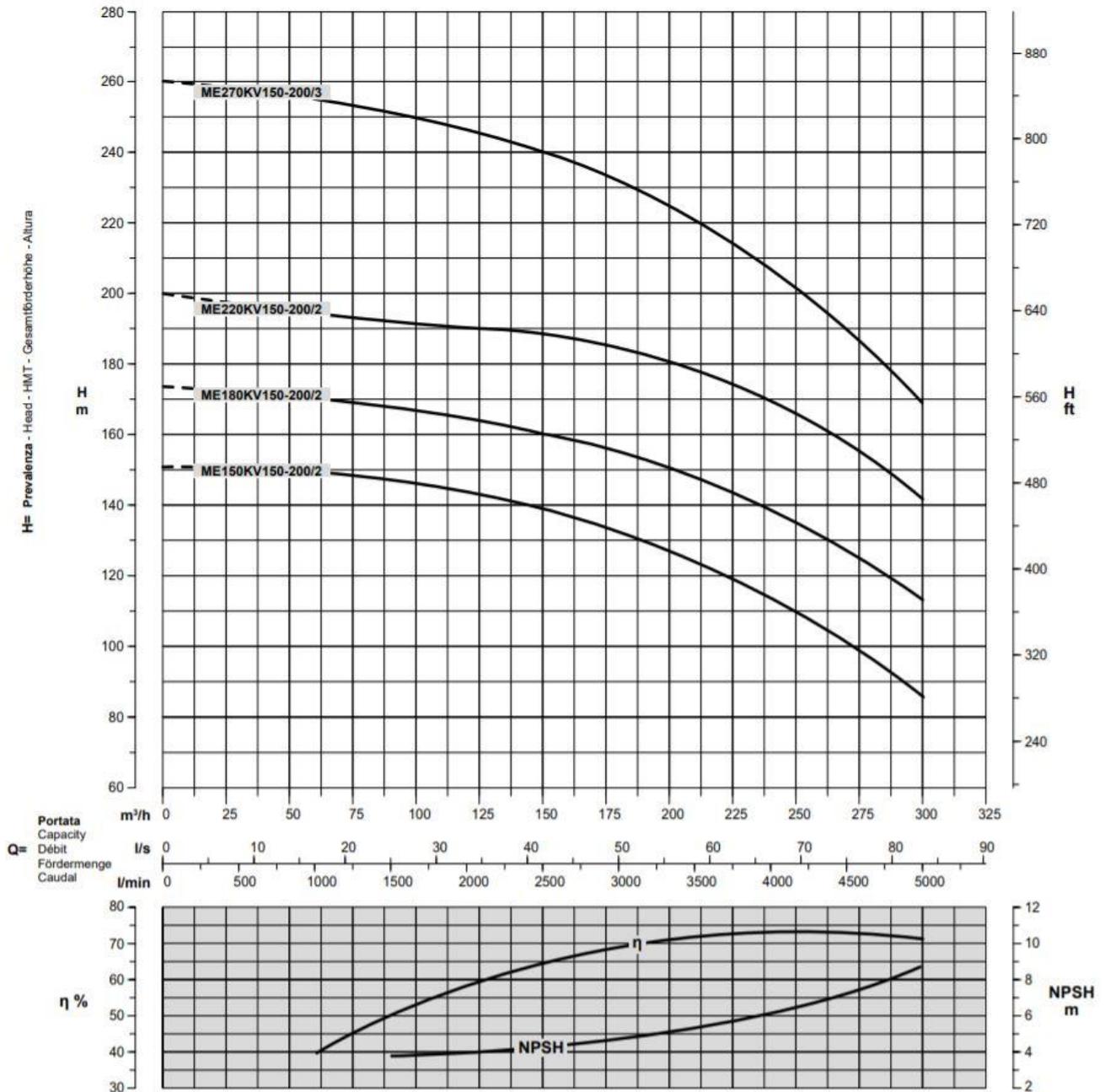


Figura 70 Curva caratteristica per  $Q=216 \text{ m}^3/\text{h}$  (www.rovatti.it)

In base al caso in esame, per la  $Q=216 \text{ m}^3/\text{h}$  è stata scelta la pompa ME150KV150-200/2 che presenta una potenza pari a 110 KW e un rendimento del 73 %.

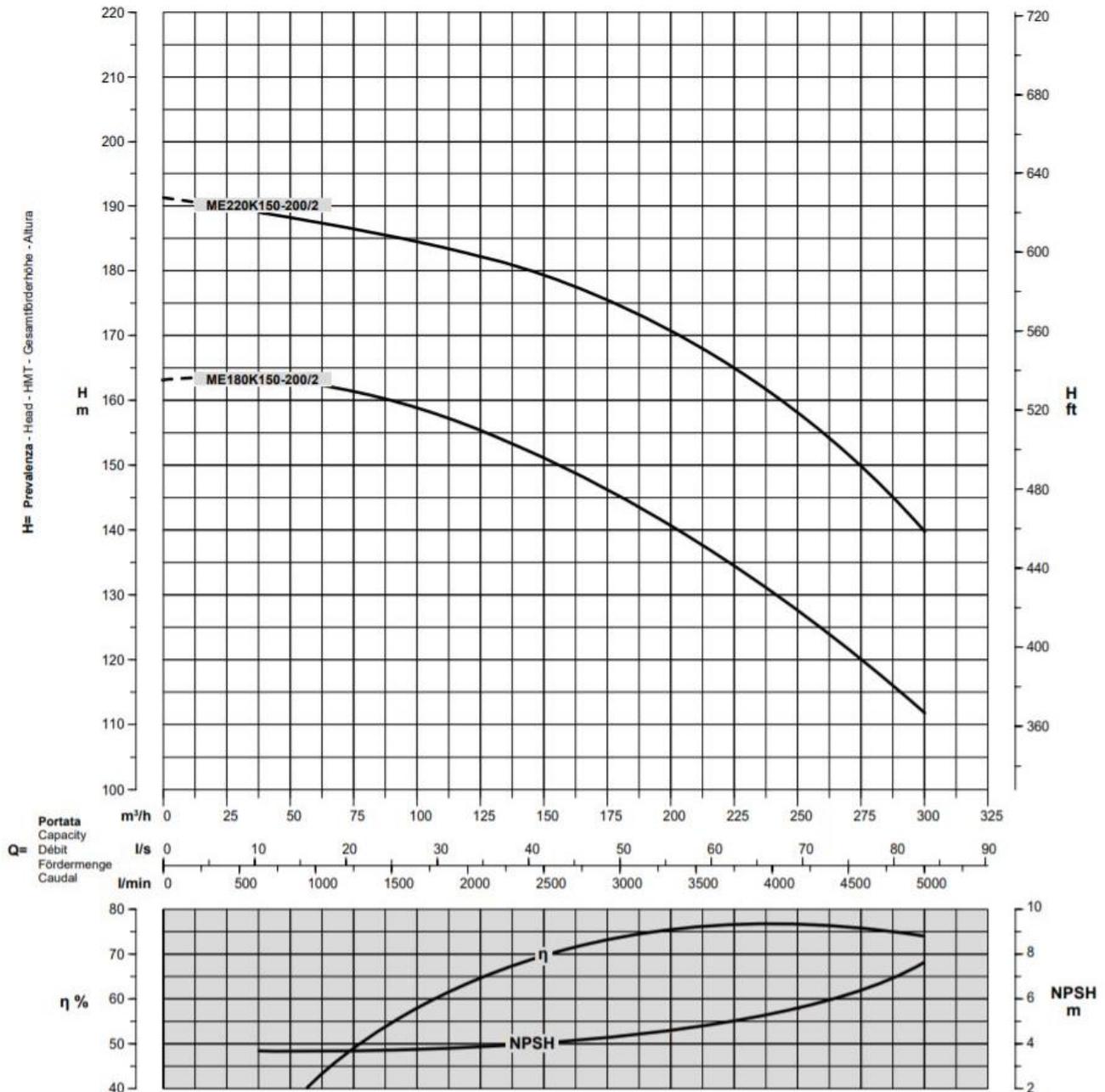


Figura 71 Curva caratteristica per  $Q=252 \text{ m}^3/\text{h}$  (www.rovatti.it)

In base al caso in esame, per la  $Q=252 \text{ m}^3/\text{h}$  è stata scelta la pompa ME180K150-200/2 che presenta una potenza pari a 132 KW e un rendimento del 76 %.

Selezione le 4 pompe per 40 l/s (144  $\text{m}^3/\text{h}$ ), 50 l/s (180  $\text{m}^3/\text{h}$ ), 60 l/s (216  $\text{m}^3/\text{h}$ ), 70 l/s (252  $\text{m}^3/\text{h}$ ), sulla base delle portate in ingresso, dei consumi e delle dimensioni dei serbatoi è stata determinata le ore di funzionamento di ciascuna pompa.

Nell'effettuare i calcoli, ai fini dell'ottimizzazione del sistema, si è optato affinché le ore di lavoro delle pompe fossero durate le ore diurne per poter utilizzare il più possibile l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico.

I profili di carico per le ore di funzionamento dell'impianto di sollevamento considerando le quattro pompe selezionate per tutti i mesi dell'anno sono quelli riportati nei grafici seguenti.

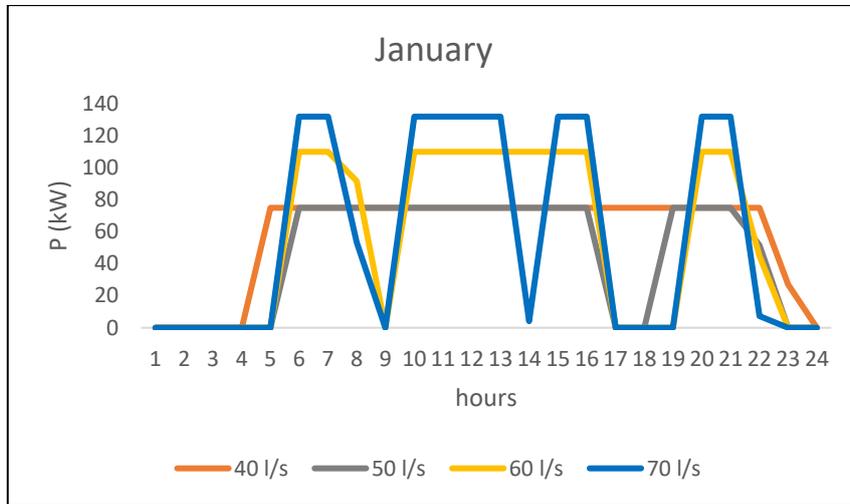


Figura 72 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Gennaio

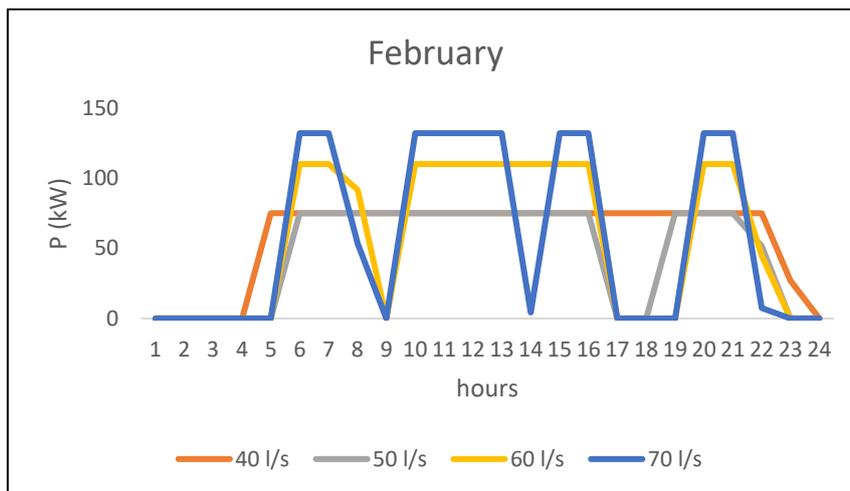


Figura 73 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Febbraio

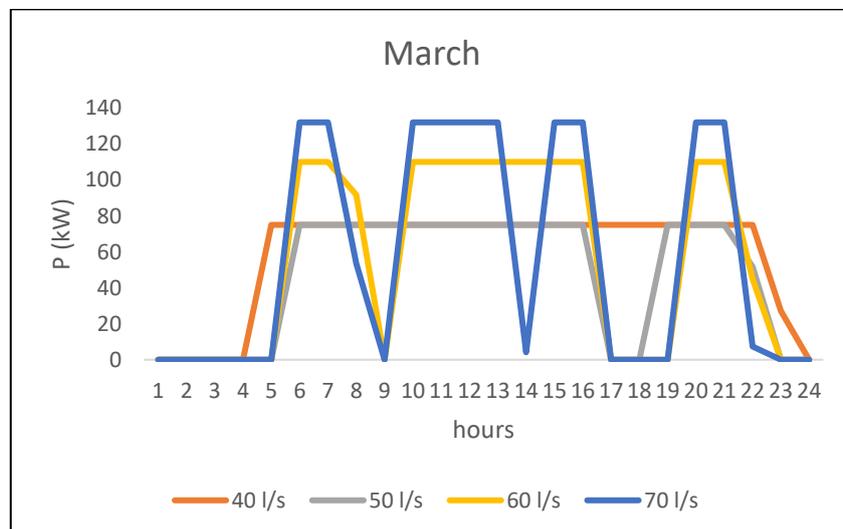


Figura 74 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Marzo

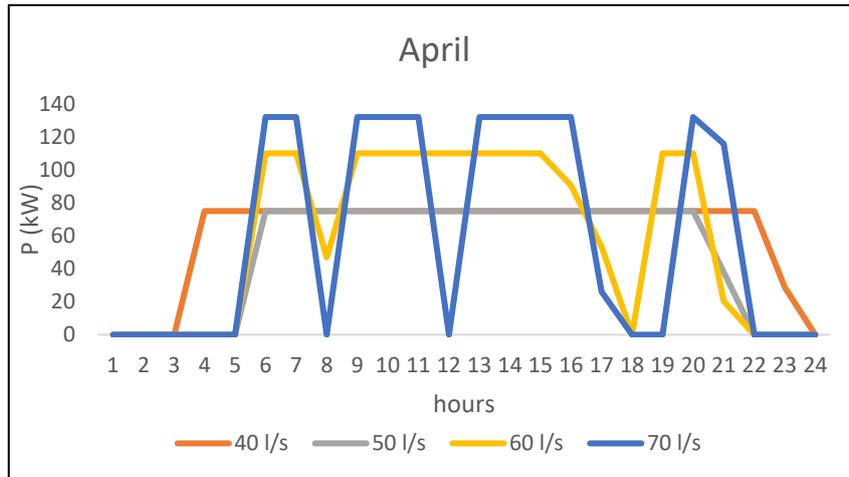


Figura 75 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Aprile

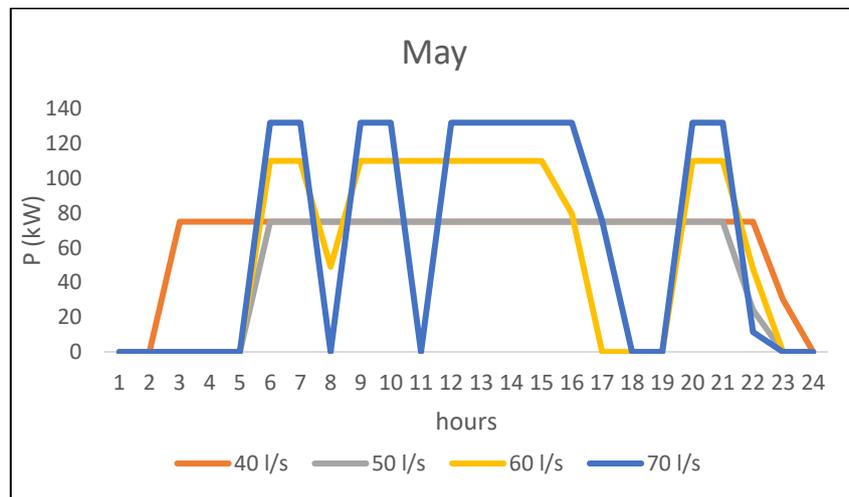


Figura 76 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Maggio

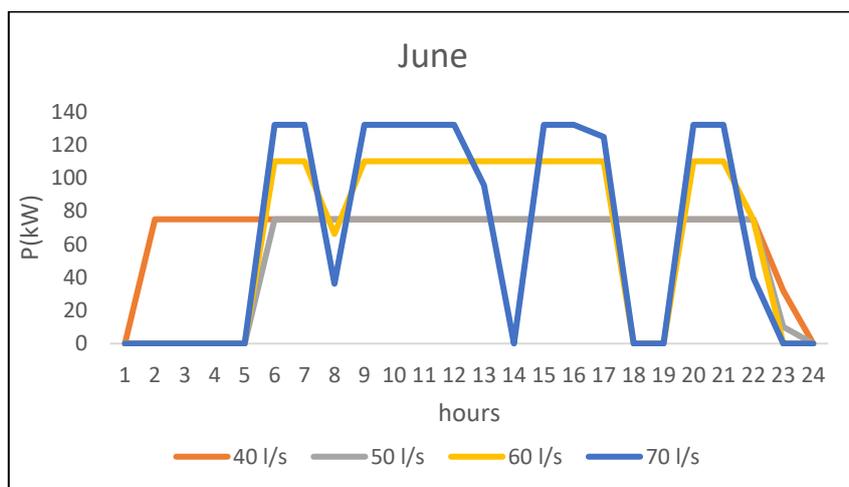


Figura 77 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Giugno

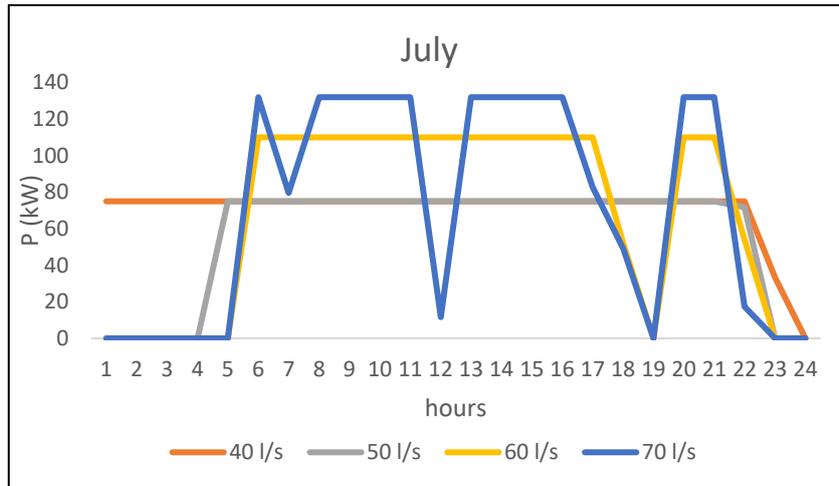


Figura 78 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Luglio

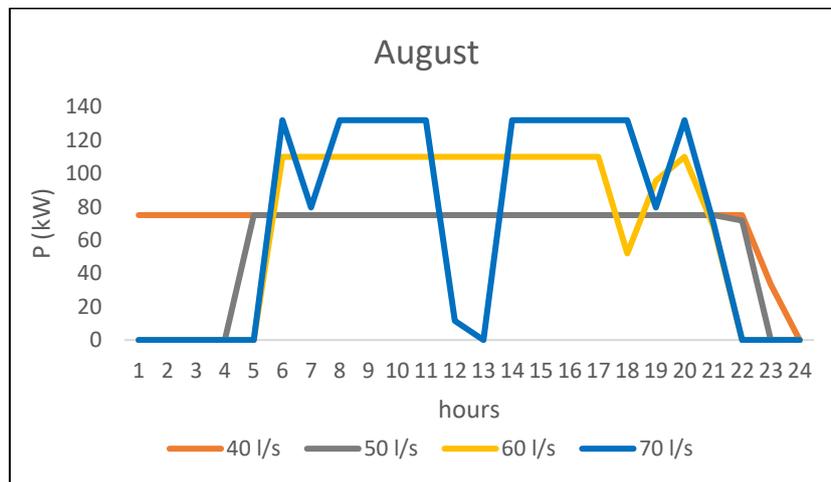


Figura 79 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Agosto

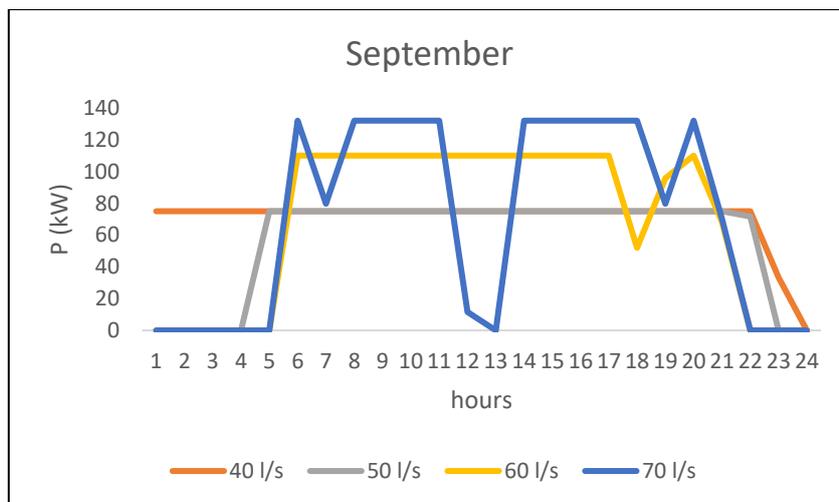


Figura 80 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Settembre

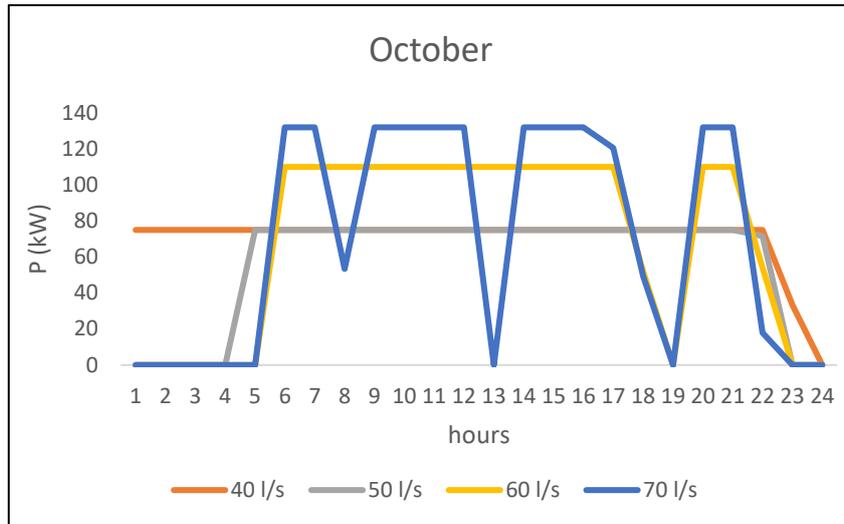


Figura 81 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Ottobre

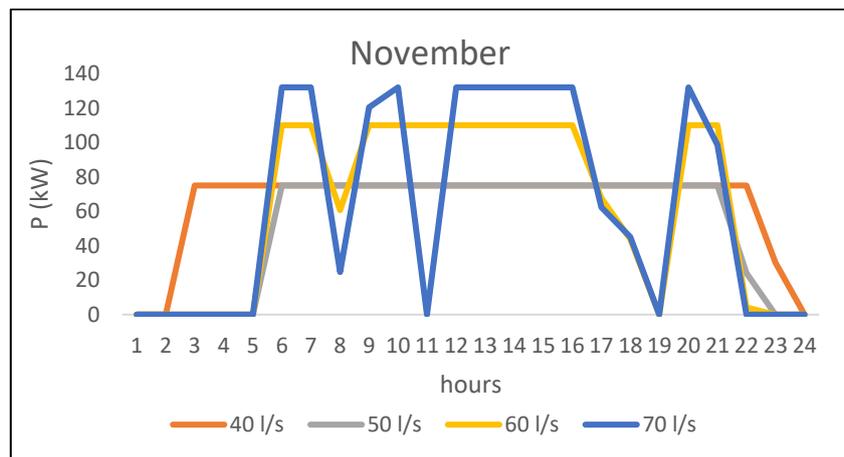


Figura 82 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Novembre

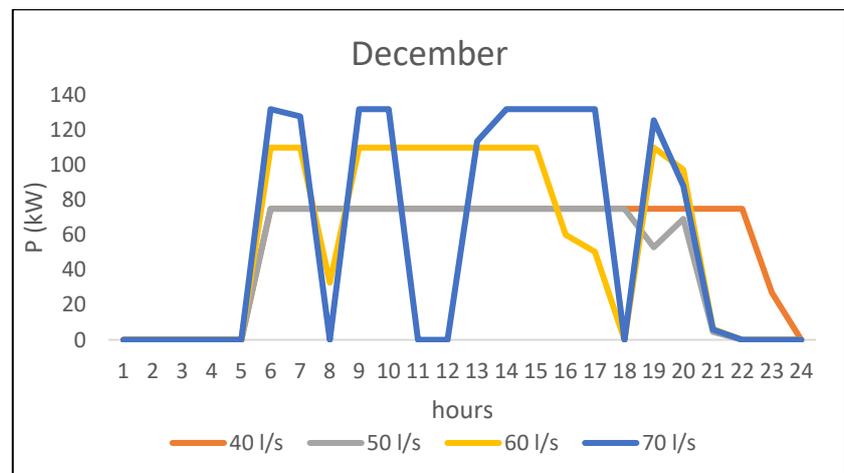


Figura 83 Pattern di funzionamento delle 4 pompe selezionate per il mese di Dicembre

Il consumo mensile totale di ciascuna pompa (kWh/mese) è presentato nella Figura 84. Poiché l'efficienza di ciascuna pompa per il valore di mandata e la prevalenza richiesta è diversa, anche il consumo totale è diverso. La

pompa con il minor consumo potrebbe essere la scelta migliore, ma ai fini dell'ottimizzazione del sistema la scelta migliore deve dipendere anche dall'orario di lavoro, dalla produzione dell'impianto fotovoltaico e dalle ore di produzione dell'energia idroelettrica.

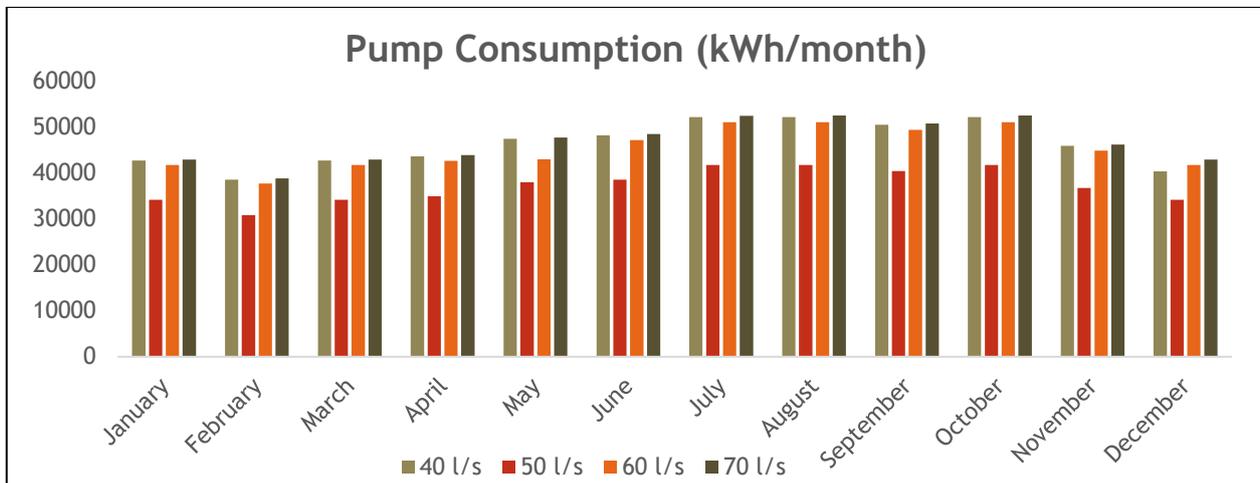


Figura 84 Consumo mensile totale delle pompe

### 5.2.3 Impianto idroelettrico, Cozzo Muoio – Merone

Sulla base delle considerazioni effettuate in precedenza in merito a salto utile e portate in uscita dal serbatoio di Cozzo Muoio verso il serbatoio di Merone, e sulla base dell'analisi di mercato sulle turbine, è stato possibile definire le caratteristiche dell'impianto idroelettrico e determinare la produzione di energia per ogni mese (kWh/mese) dal sistema idroelettrico ipotizzato.

Come visto in precedenza, le tipologie di turbina disponibili sul mercato sono molteplici. Per il caso in esame è stato scelto l'utilizzo di una turbina Banki JLA29. Tale dispositivo è estremamente efficiente già per portate modeste e per valori di carico compatibili a quelli presenti in situ.

Inoltre, come specificato nel paragrafo 3.1.2, per ogni mese il numero di ore della giornata in cui la portata è inviata al serbatoio Merone dal serbatoio Cozzo Muoio è diverso, ma tale valore si mantiene costante nell'intero mese. Pertanto, il modello di produzione di elettricità in ogni mese è lo stesso per tutti i giorni.

Ai fini dell'ottimizzazione del macro-sistema, per ridurre al minimo l'utilizzo della rete, il periodo di funzionamento della turbina è stata fatta coincidere il più possibile con le ore di funzionamento della pompa.

In figura 85 è mostrata la produzione mensile totale per la Turbina Banki JLA29.

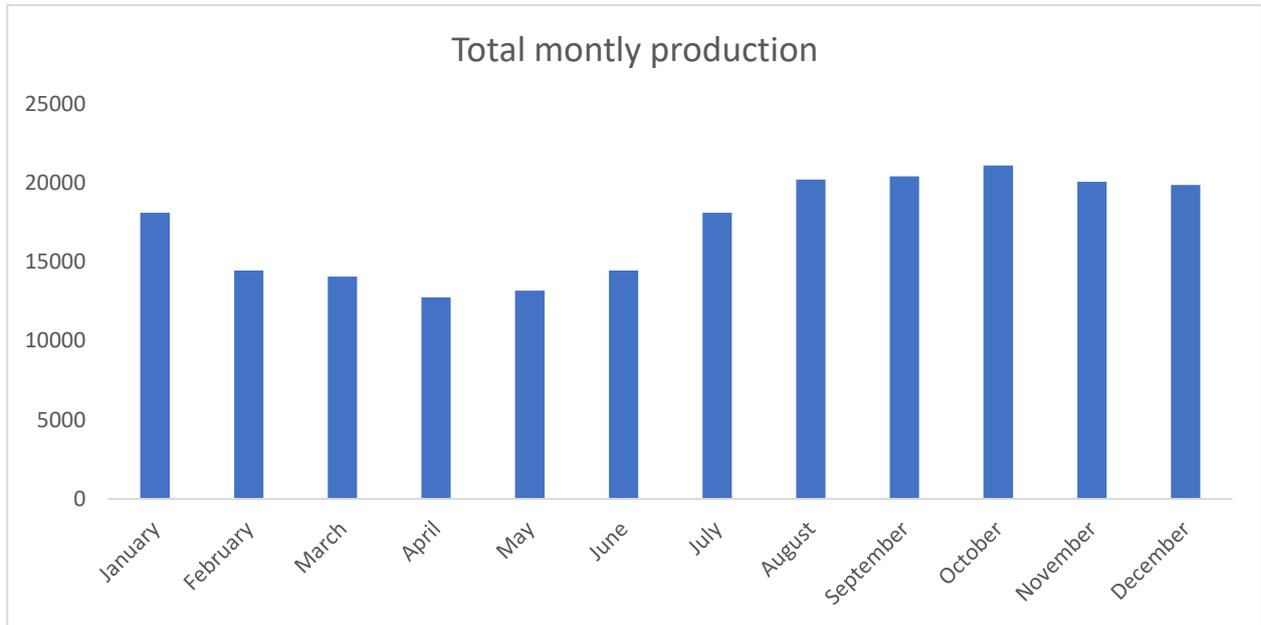


Figura 85 Produzione mensile totale – Turbina Banki JLA29 (kWh/mese)

#### 5.2.4 Ottimizzazione del macro-sistema

Definiti tutti i sistemi che agiscono all'interno del macro-sistema in termini di componenti, profili di carico e di generazione è possibile procedere con la definizione dell'architettura ottimale del sistema ibrido idrico-elettrico per il caso studio analizzato.

A tal fine, per avere la massima disponibilità di energia senza far ricorso alla rete (richiesta minima di batteria in caso di off-grid), le distribuzioni medie di consumo (consumo della pompa che dipende anche dal bilanciamento tra ingresso e uscita delle portate nei serbatoi) e di produzione (impianto fotovoltaico, che dipende dall'irraggiamento solare, e turbina idraulica) dovrebbero essere le stesse. Bisogna, dunque, cercare di soddisfare il più possibile il consumo di energia elettrica delle pompe mediante l'energia prodotta da entrambi i sistemi di produzione di energia elettrica (fotovoltaico e idroelettrico).

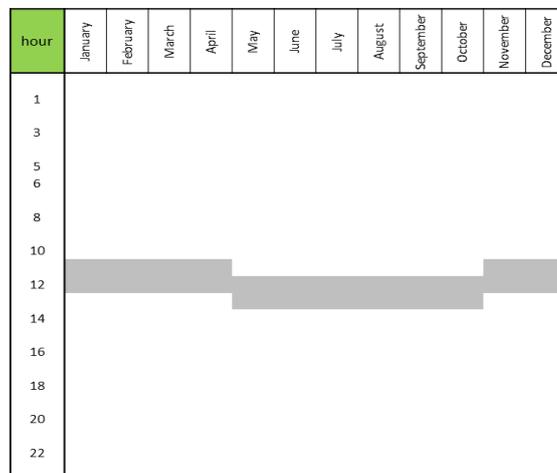


Figura 86 Produzione impianto fotovoltaico – periodo temporale in cui si ha la media della distribuzione



- i consumi della pompa per ciascuna delle quattro pompe scelte sono diversi così come è diverso l’orario di funzionamento, ad esempio il consumo della pompa 40l/s è inferiore, ma il tempo di lavoro è maggiore;
- la produzione della turbina è diversa ogni mese, ma è fissa per tutti i giorni del singolo mese;
- per poter utilizzare il meno possibile energia dalla rete, il tempo di produzione di energia elettrica da parte dell’idroelettrico deve essere il più possibile uguale al funzionamento della pompa.

Alla luce di tali considerazioni, per ogni 365 giorni è stato ottenuto il grafico della produzione da fotovoltaico e dell’idroelettrico e il consumo delle pompe.

Nelle figure 89 e 90 sono mostrati gli andamenti per il 1 gennaio e il 1 agosto.

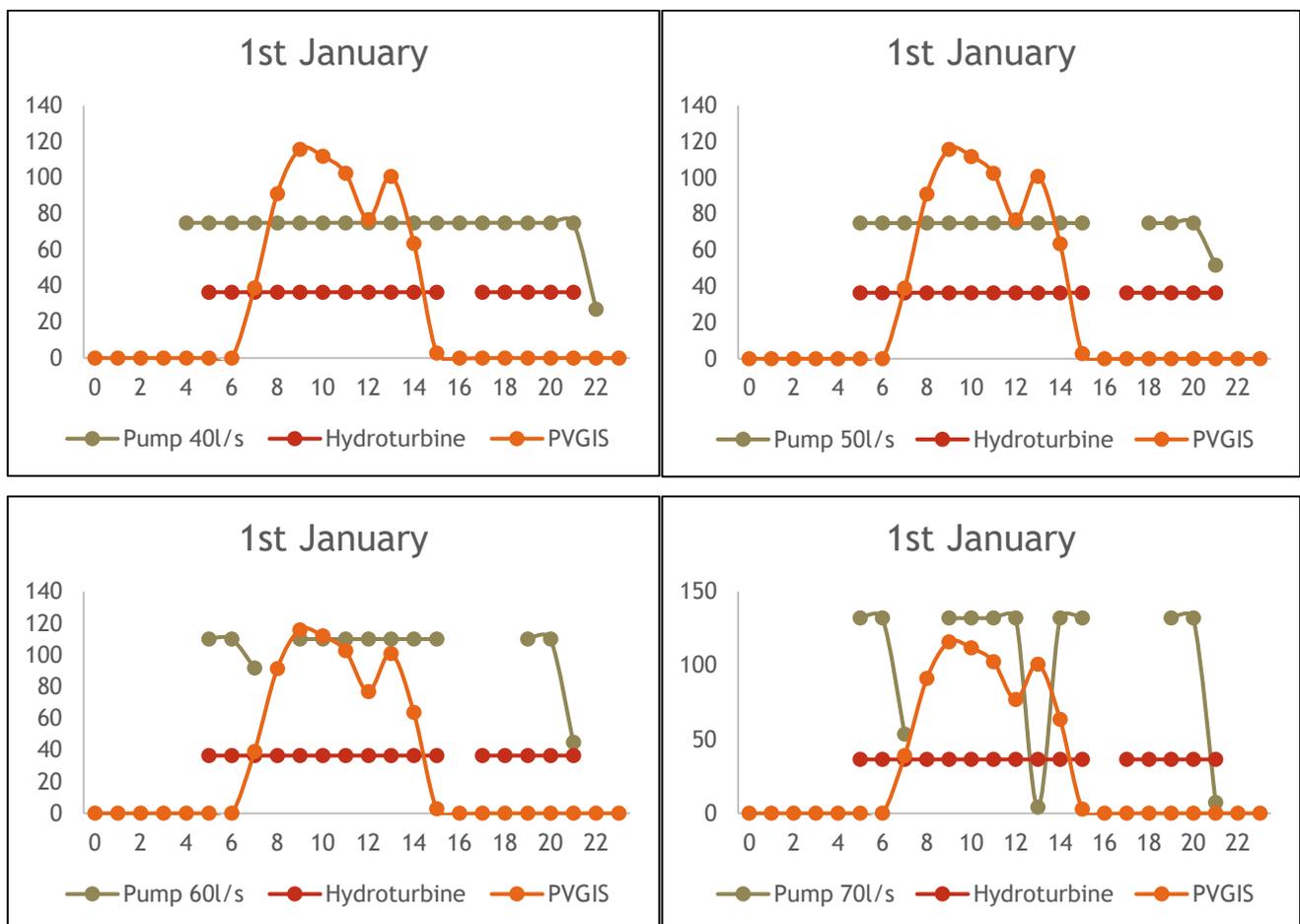


Figura 89 La produzione da fotovoltaico e idroelettrico e il consumo delle pompe (40l/s,50l/s,60l/s,70l/s) in (kW) - 1 Gennaio

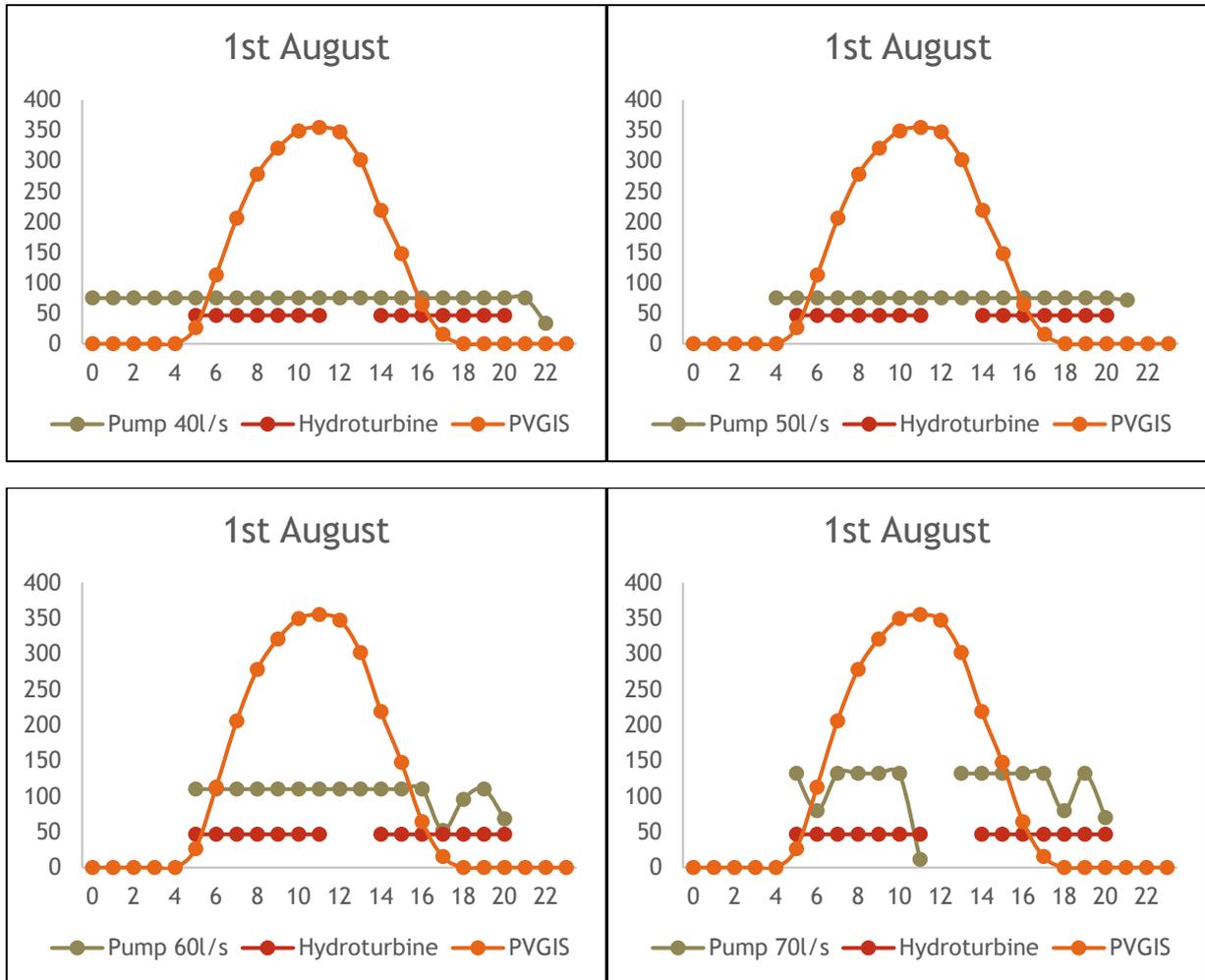


Figura 90 La produzione da fotovoltaico e idroelettrico e il consumo delle pompe (40l/s,50l/s,60l/s,70l/s) in (kW) - 1 Agosto.

A partire dai calcoli orari, sono state determinate:

- la produzione mensile totale di elettricità dell'impianto fotovoltaico (kWh/mese)
- la produzione mensile totale dell'impianto idroelettrico (kWh/mese)
- il consumo mensile totale delle Pompe (kWh/mese)

i cui risultati sono mostrati in figura 91.

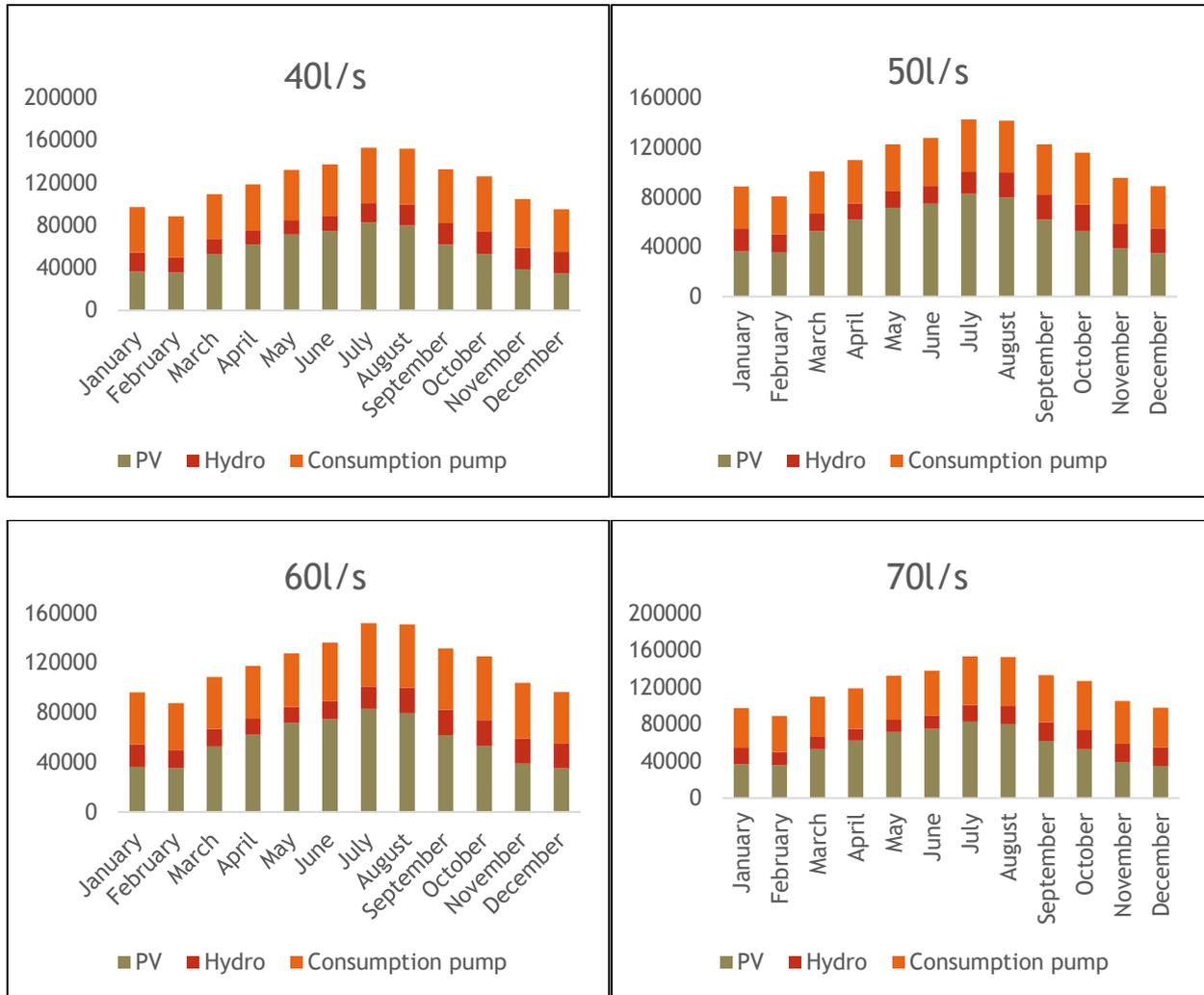


Figura 91 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico e consumo totale mensile delle pompe (40l/s,50l/s,60l/s,70l/s) – (kWh/mese)

Infine, considerando tutte e quattro le tipologie di pompe selezionate, per ogni mese, oltre al consumo della pompa e alla produzione da impianto fotovoltaico e impianto idroelettrico, è stato determinato (figure 92, 93, 94 e 95):

- la potenza (kwh/mese) necessaria dalla Grid (o batteria), ossia il tempo in cui la pompa è in funzione, ma l'impianto fotovoltaico non sta producendo abbastanza (è nuvoloso o è notte) e la quantità di produzione idroelettrica non è sufficiente;
- la potenza extra che può essere prodotta dal sistema ibrido idrico-elettrico e può essere inviata alla Grid (o batteria).

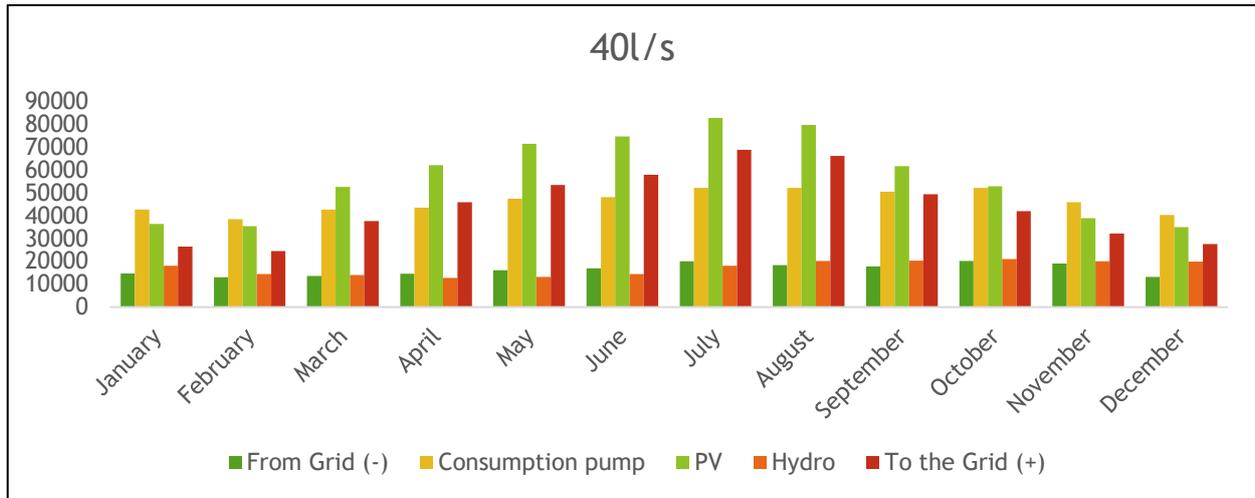


Figura 92 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (40l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid – (kWh/mese)

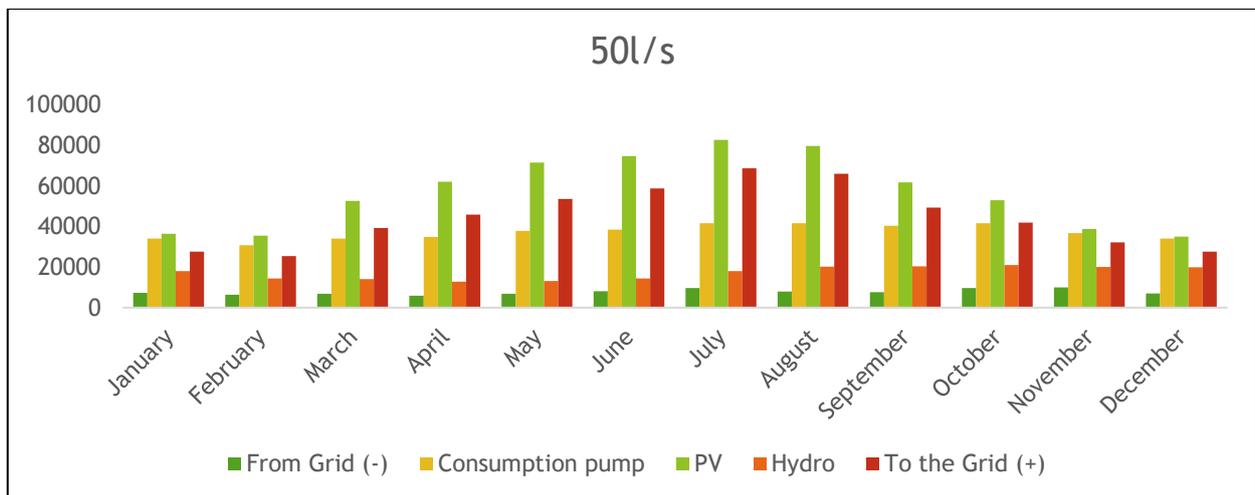


Figura 93 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (50l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid (kWh/mese)

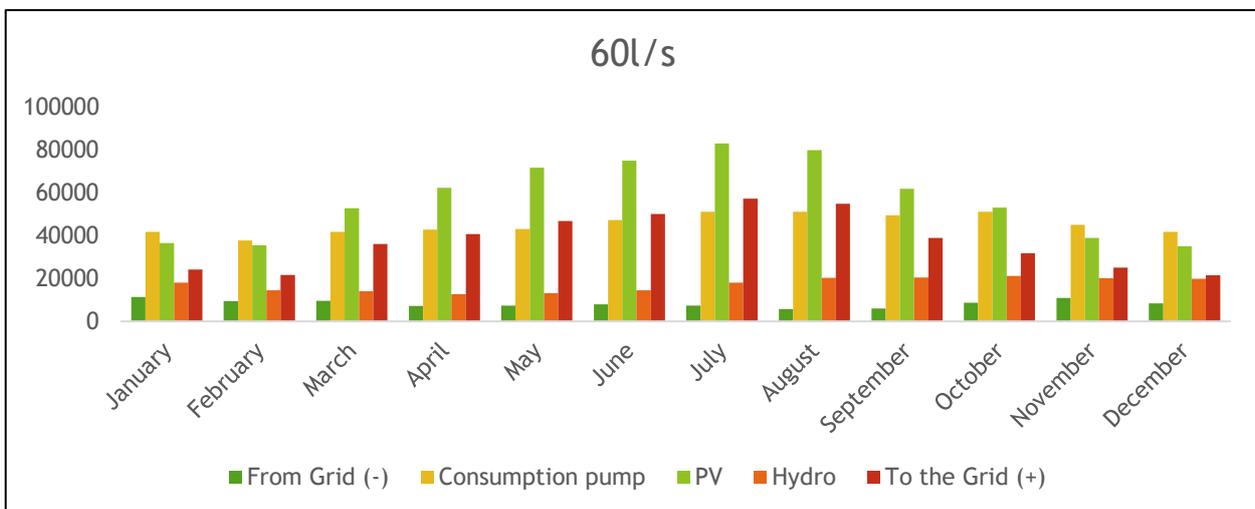


Figura 94 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (60l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid (kWh/mese)

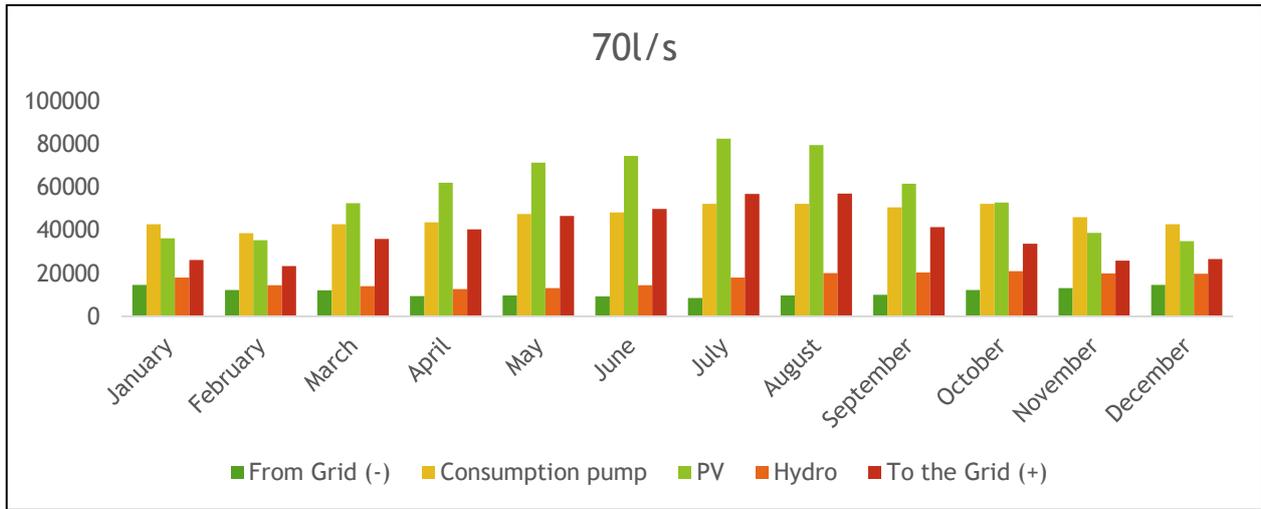


Figura 95 Produzione totale mensile da impianto fotovoltaico, produzione totale mensile da impianto idroelettrico, consumo totale mensile della pompa (60l/s), energia richiesta dalla Grid e ceduta alla Grid (kWh/mese)

Nell’ottica dell’ottimizzazione del sistema è stato, inoltre, anche valutato il consumo mensile totale delle pompe e l'utilizzo totale dalla Grid (o batteria), ossia il fabbisogno di energia in più rispetto ai sistemi fotovoltaico e idroelettrico.

I risultati, mostrati nella figura 96 sono stati effettuati per ogni mese sulla base di dati orari.

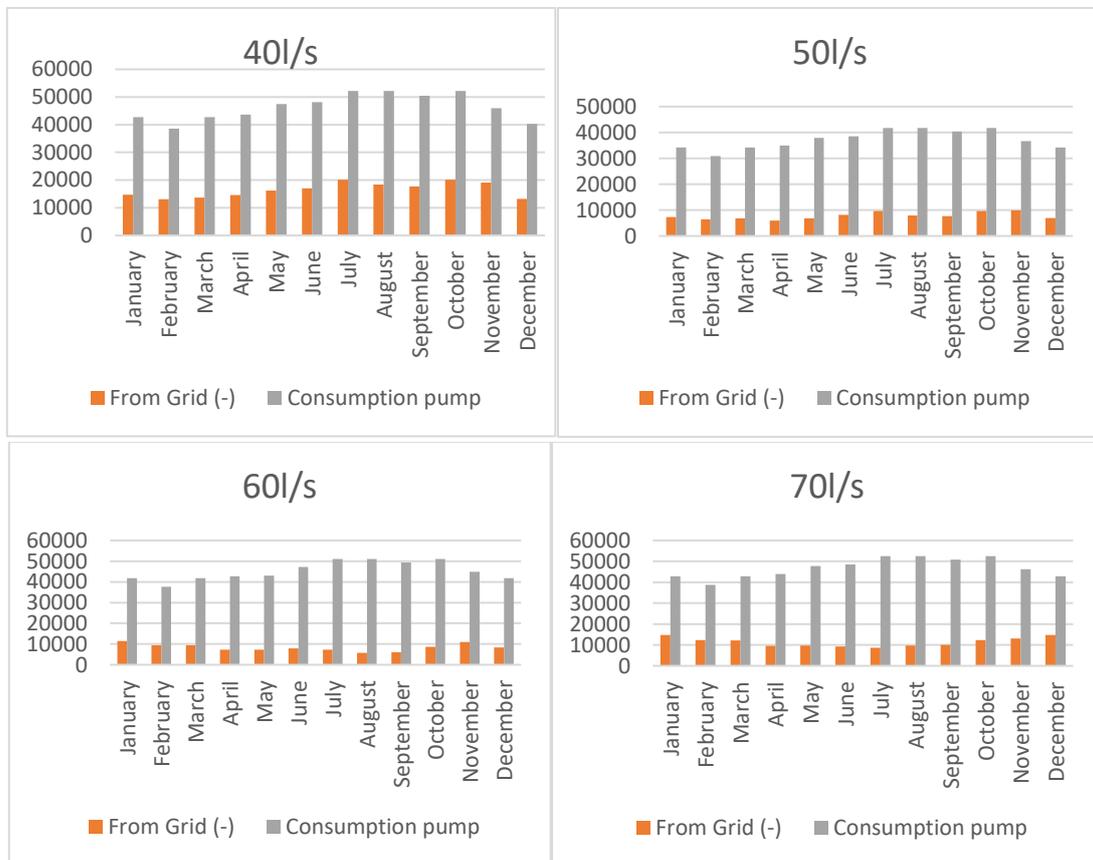
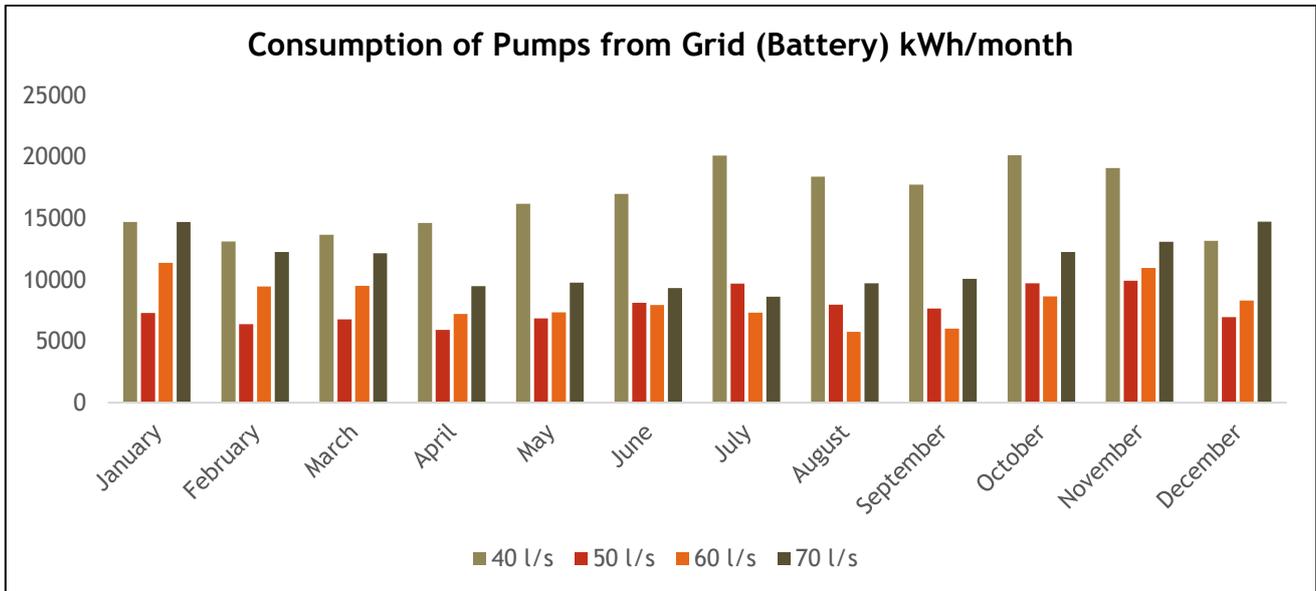


Figura 96 Consumo della pompa (per le pompe 40 l/s, 50 l/s, 60 l/s e 70 l/s) e uso della Grid/Batteria (kW)

La scelta, pertanto, della pompa che presenta la minima richiesta dalla Grid (o batteria) ha determinato la definizione dell'architettura ottimale del sistema ibrido idrico-elettrico.

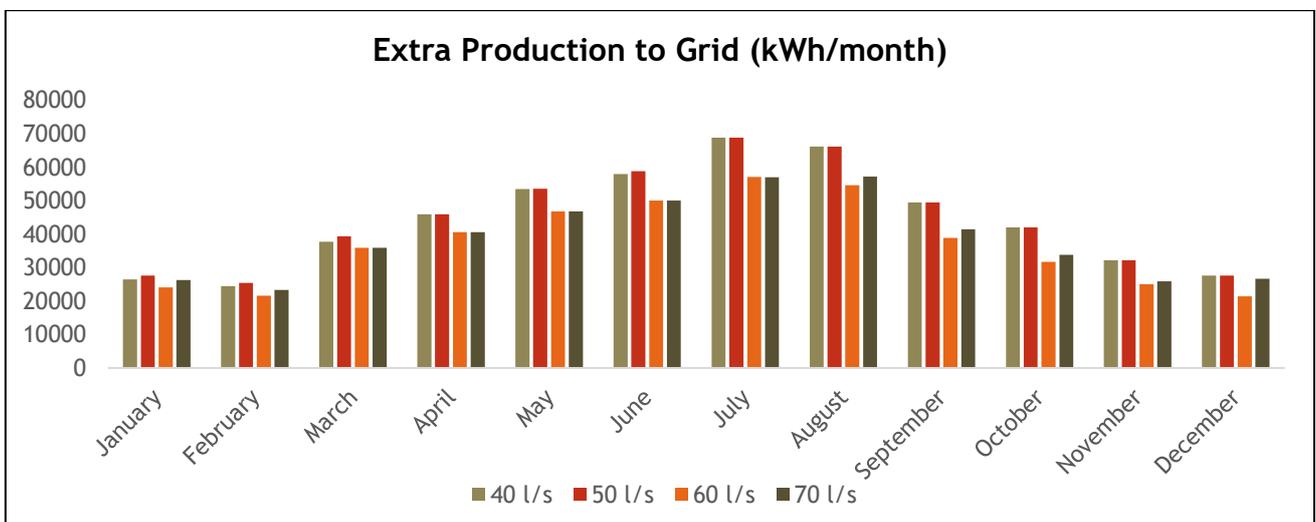
I risultati del consumo mensile totale delle pompe dalla Grid (o batteria), ottenuti considerando ogni ora per 365 giorni, sono mostrati nella figura 97.



*Figura 97 Consumo mensile totale della pompa dalla Grid/batteria*

Dall'analisi dei risultati si può osservare che le pompe che presentano minore richiesta di energia da Grid (o batteria) sono le pompe di 50 l/s e 60 l/s che rappresentano, pertanto, la migliore scelta per il caso in esame.

Al fine di poter effettuare la scelta della pompa che consentisse la definizione dell'architettura ottimale del sistema ibrido, è stata, inoltre, valutata la produzione extra del macro-sistema che può essere ceduta alla Grid (o batteria). Anche tale analisi è stata effettuata a partire dai dati di ogni ora per 365 giorni.



*Figura 98 Produzione mensile extra del Sistema che può essere ceduta alla Grid (kW)*

La figura 98 mostra i confronti tra la produzione extra considerando le 4 pompe selezionate, ottenendo il valore più alto per le pompe di 40 l/s e 50 l/s.

Combinando, pertanto, i risultati ottenuti in termini di produzione extra e richiesta di energia da parte della Grid (o batteria), si può concludere che la pompa che consente un uso ottimale dell'energia prodotta da fotovoltaico e idroelettrico, è quella di 50 l/s. Si può, tuttavia, osservare che il surplus (extra) di produzione è notevolmente superiore rispetto all'utilizzo mensile delle pompe e, non potendo essere utilizzata in questo sistema, la stessa potrebbe essere utilizzata per altri scopi definiti dalla nanogrid.

## BIBLIOGRAFIA

- American society of civil engineers. Report Card for America's Infrastructure Executive Summary. 2009:1
- Bakelli Y, Arab AH, Azoui B. Optimal sizing of photovoltaic pumping system with water tank storage using LPSP concept. *Solar Energy* 2011; 85:288–94.
- Bucher, W. (1996). Aspects of solar water pumping in remote regions. *Energy for Sustainable Development*, 3(4), 8-27.
- Casini, M. (2015). Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 4(4), 316-327.
- Cuadros F, Lopez-Rodriguez F, Marcos A, Coello J. A procedure to size solarpowered irrigation (photo irrigation) schemes. *Solar Energy* 2004; 76:465–73.
- Firatoglu ZA, Yesilata B. New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems. *Sol Energy* 2004; 77:81–93.
- Firatoglu ZA, Yesilata B. New approaches on the optimization of directly coupled PV pumping systems. *Sol Energy* 2004; 77:81–93.
- Gopal, C., Mohanraj, M., Chandramohan, P., & Chandrasekar, P. (2013). Renewable energy source water pumping systems—A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 351-370.
- Hoffmann, D., Willmann, A., Göpfert, R., Becker, P., Folkmer, B., & Manoli, Y. (2013). Energy harvesting from fluid flow in water pipelines for smart metering applications. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 476, No. 1, p. 012104). IOP Publishing.
- Miotto, F., Claps, P., Revelli, R., & Poggi, D. (2008). Produzione di energia idroelettrica ecocompatibile da acquedotti: analisi di fattibilità economica. *Proceedings of 31 Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*.
- Morreale, G., Sammartano, V., Sinagra, M., Tucciarelli, T., & Paternò, F. (2014). Costruzione e sperimentazione di una turbina cross-flow per acquedotti. In *Convegno H2O*.
- Rossi, M., Righetti, M., & Renzi, M. (2016). Pump-as-Turbine for energy recovery applications: the case study of an aqueduct. *Energy Procedia*, 101, 1207-1214.
- Sontake, V. C., & Kalamkar, V. R. (2016). Solar photovoltaic water pumping system-A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1038-1067.

<http://www.soricalspa.it/>

[http://www.nextville.it/Mini\\_idroelettrico/646/Micro\\_idroelettric](http://www.nextville.it/Mini_idroelettrico/646/Micro_idroelettric)

Mini idroelettrico (ambiente-energia.info)

<https://www.terna.it/it-it/sistemaelettrico/statisticheeprevisionsi/datistatistici.aspx>

<http://www.ijsgce.com/uploadfile/2015/0929/20150929103416700.pdf>

<https://www.nextech.sk/a/V-Oregone-prevadzkuju-elektarren-vo-vodovodnom-potrubi>

<https://www.ecoticias.com/tecnologia-verde/159779/Great-Barrier-forma-original-sencilla-generar-energia-casa>

<http://www.earthpowernews.com/powerspout-streamlines-their-micro-hydro-line>

<https://www.irem.it/idroelettrico/turbine-acquedotti/turbine-tpa>

<http://www.sierrasolarsystems.com/files/08-Hydro-low.pdf>

<https://www.rpc.com.au/pdf/HYD-062-Manual.pdf>

<https://www.absak.com/pdf/books/ABSHydro.pdf>

<https://microhydropower.com>

<https://www.irem.it/Brochure/IREM-HYDRO-IT/pdf/IREM%20catalogo%20hydro%20IT%202019%20esec.pdf>

<https://www.irem.it/hydro-power/turbine-banki/>

<https://www.oberlechner-messner.it/wasserkraftwerke/>

<http://www.omton.it/Progettazione.html>

[https://www.researchgate.net/figure/Efficiency-curve-of-various-turbine-designs-per-percentage-of-rated-flow-18\\_fig2\\_322639914](https://www.researchgate.net/figure/Efficiency-curve-of-various-turbine-designs-per-percentage-of-rated-flow-18_fig2_322639914)

[https://it.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_Banki](https://it.wikipedia.org/wiki/Turbina_Banki)

<http://www.ossbergerhydro.com/cross-flow-turbines.html>

[http://www.ac-tec.it/index\\_it.html](http://www.ac-tec.it/index_it.html)

<http://www.ac-tec.it/assets/images/Projekte/AC-TEC.pdf>

<http://www.jlahydro.be/en/jla-cross-flow-turbines>

<http://altmanpower.com/hydro-energy/>

<http://greenbugenergy.com/get-educated-knowledge/types-of-turbines#prettyPhoto>

<https://cdn.microhydropower.com/wp-content/uploads/2015/03/Diversion-Battery-Control.pdf>



<https://www.rovatti.it/pdf/MEKV100Europa.pdf>

MEKV150Europa.pdf (rovatti.it)